

# 中国煤炭工业 百科全书

地质·测量卷

CHINA COAL INDUSTRY  
ENCYCLOPAEDIA

Geology & Survey Volume



# 目 录

前言.....	7
凡例.....	8
条目分类目录 .....	11
彩图插页目录 .....	17
地质.....	1
测量.....	485
附录.....	671
条目汉字笔划索引.....	675
条目英文索引 (INDEX OF ARTICLES) .....	680
条目及内容主题分析汉语拼音索引.....	686

# 条 目 分 类 目 录

## 地 质

煤 .....	203	煤显微组分 .....	317
煤田地质学 .....	282	硬煤显微组分 .....	432
〔煤的成因〕		镜质组 .....	131
成煤植物 .....	20	半镜质组 .....	8
成煤作用 .....	21	惰质组 .....	74
泥炭化作用 .....	345	壳质组 .....	354
凝胶化作用 .....	348	褐煤显微组分 .....	114
丝炭化作用 .....	393	腐植组 .....	89
残植化作用 .....	11	稳定组 .....	416
泥炭 .....	337	显微煤岩类型 .....	423
泥炭沼泽 .....	346	煤中矿物质 .....	331
腐泥化作用 .....	88	镜质组反射率 .....	132
煤化作用 .....	243	煤显微组分荧光分析 .....	318
煤变质作用 .....	203	煤显微硬度 .....	317
煤深成变质作用 .....	258	煤电镜研究 .....	239
希尔特规律 .....	421	中国煤岩特征 .....	456
煤级 .....	244	煤的物理性质 (见加工利用卷) .....	239
煤接触变质作用 .....	246	煤的化学工艺性质 (见加工利	
天然焦 .....	398	用卷) .....	239
煤区域岩浆热变质作用 .....	255	煤的分类 (见加工利用卷) .....	239
煤动力变质作用 .....	240	腐植酸 (见加工利用卷) .....	89
中国煤变质规律 .....	452	含煤岩系 .....	104
煤成因类型 .....	238	煤层 .....	208
腐植煤 .....	89	煤核 .....	242
残植煤 .....	10	煤相 .....	320
腐植腐泥煤 .....	88	煤层沉积环境 .....	213
腐泥煤 .....	88	近海型含煤岩系 .....	128
石煤 .....	375	内陆型含煤岩系 .....	335
煤风化作用 .....	241	含煤性 .....	103
煤岩学 .....	326	煤系沉积构造 .....	301
煤岩组成 .....	327	煤系沉积相 .....	304

煤系岩石相 .....	314
煤系生物相 .....	313
煤系地球化学相 .....	305
煤系地震地层相 .....	308
煤系地球物理测井相 .....	306
含煤沉积体系 .....	103
河流沉积体系 .....	110
湖泊沉积体系 .....	117
冲积扇和扇三角洲沉积体系 .....	21
三角洲沉积体系 .....	362
河口湾-潮滩(坪)沉积体系 .....	108
障壁海岸沉积体系 .....	442
碳酸盐缓坡沉积体系 .....	397
碳酸盐陆架沉积体系 .....	398
煤沉积模式 .....	231
聚煤古地理 .....	136
煤系层序地层分析 .....	294
煤系共伴生矿产资源 .....	310
煤成烃 .....	237
煤成气 .....	233
煤层气 .....	223
煤成油 .....	238
油页岩 .....	435
高岭土 .....	96
耐火粘土 .....	333
铝土矿 .....	200
膨润土 .....	349
硅藻土 .....	101
石墨 .....	376
硫铁矿 .....	197
煤中伴生元素 .....	329
<b>中国含煤地层</b> .....	450
早石炭世含煤地层 .....	437
石炭二叠纪含煤地层 .....	377
晚二叠世含煤地层 .....	408
晚三叠世含煤地层 .....	412
早中侏罗世含煤地层 .....	439
侏罗白垩纪含煤地层 .....	460
第三纪含煤地层 .....	55
第四纪含泥炭地层 .....	58

<b>煤盆地</b> .....	251
煤盆地分析 .....	252
煤盆地类型 .....	253
坳陷煤盆地 .....	6
断陷煤盆地 .....	69
同沉积构造 .....	398
富煤带 .....	90
〔聚煤作用〕	
聚煤条件 .....	146
聚煤期 .....	137
聚煤带 .....	135
聚煤区 .....	137
煤炭资源(见 <b>综合卷</b> ) .....	261
<b>煤田</b> .....	262
中国煤田地质图 .....	456
煤田地质构造 .....	273
构造型式 .....	98
推覆构造 .....	400
伸展构造 .....	370
走向滑动构造 .....	469
重力滑动构造 .....	458
〔中国著名煤田〕	
鄂尔多斯煤田 .....	75
大同煤田 .....	37
沁水煤田 .....	356
开滦煤田 .....	148
淮南煤田 .....	119
鸡西煤田 .....	122
伊敏煤田 .....	430
抚顺煤田 .....	86
乌鲁木齐煤田 .....	416
六盘水煤田 .....	198
昭通煤田 .....	445
台湾煤田 .....	395
〔国外著名煤田〕	
库兹涅茨克煤田 .....	162
坎斯克—阿钦斯克煤田 .....	158
顿涅茨煤田 .....	71
上西里西亚煤田 .....	369
鲁尔煤田 .....	199



莱茵煤田 .....	195	钻孔 .....	474
约克郡 诺丁汉郡煤田 .....	436	钻孔质量 .....	477
阿巴拉契亚煤田 .....	3	钻孔冲洗 .....	474
伊利诺斯煤田 .....	430	泥浆 .....	336
艾伯塔煤田 .....	4	泥浆处理剂 .....	337
悉尼煤田 .....	422	钻孔堵漏 .....	476
贾里亚煤田 .....	123	孔内事故 .....	161
南非煤田 .....	334	钻孔弯曲 .....	476
<b>煤田地质勘探</b> .....	275	钻探设备 .....	482
煤田预测 .....	288	钻探机 .....	481
勘探设计 .....	156	立轴式钻机 .....	196
勘探阶段 .....	151	转盘式钻机 .....	464
找煤 .....	447	动力头式钻机 .....	68
普查 .....	351	钻探泵 .....	480
详查 .....	425	钻塔 .....	478
精查 .....	128	钻塔活动工作台 .....	479
勘探手段 .....	157	钻探工具 .....	480
勘探工程布置 .....	150	煤心采取器 .....	325
勘探类型 .....	153	瓦斯采取器 .....	404
综合勘探 .....	468	钻探钻头 .....	484
边采边探 .....	8	硬质合金钻头 .....	435
“三边”工作 .....	361	金刚石钻头 .....	127
煤层对比 .....	217	超硬材料切削具 .....	19
煤层采样 .....	210	稳定器 .....	416
煤层瓦斯含量采样 .....	230	拧管机 .....	347
地质编录 .....	49	钻进方法 .....	474
煤炭储量 .....	259	回转钻进 .....	120
储量级别 .....	26	冲击钻进 .....	25
储量计算 .....	28	冲击回转钻进 .....	24
数学地质 .....	382	潜孔锤钻进 .....	354
煤田地质勘探报告 .....	277	硬质合金钻进 .....	434
煤田地质勘探基本图纸 .....	278	金刚石钻进 .....	125
煤层底板等高线图 .....	216	绳索取心钻进 .....	374
储量计算图 .....	32	不取心钻进 .....	9
煤炭资源评价 .....	261	定向钻进 .....	67
煤质评价 .....	328	反循环钻进 .....	80
矿区环境地质 .....	189	坑道钻探 .....	159
矿区环境地质勘查 .....	190	钻进参数 .....	472
<b>煤田钻探</b> .....	292	钻进参数仪 .....	472
岩石可钻性 (见 <b>矿井建设卷</b> ) .....	427	岩心采取率 .....	427

煤心采取率 .....	325	电法勘探资料地质解释 .....	62
钻探效率 .....	483	地震勘探资料地质解释 .....	43
· 煤田地球物理勘探 .....	268	测井资料地质解释 .....	15
遥感技术 .....	427	<b>矿井地质</b> .....	167
煤田重力勘探 .....	290	矿井地质规程 .....	173
煤田磁法勘探 .....	265	矿建地质 .....	163
煤田电法勘探 .....	285	矿井地质勘探 .....	174
电阻率法 .....	65	综采地质条件评价 .....	465
频率测深法 .....	350	矿井地质编录 .....	168
瞬变电磁法 .....	392	矿井地质构造 .....	170
激发极化法 .....	121	煤层厚度变化 .....	220
煤田地震勘探 .....	270	煤系内火成岩 .....	311
反射波法地震勘探 .....	78	喀斯特陷落柱 .....	148
折射波法地震勘探 .....	447	瓦斯地质 .....	404
横波法地震勘探 .....	115	瓦斯突出危险性评价 .....	407
高分辨率地震勘探 .....	93	矿井地热 .....	164
三维地震勘探 .....	366	探采对比 .....	396
垂直地震剖面法勘探 .....	33	地质说明书 .....	55
地震地层学 .....	42	矿井地质报告 .....	168
地震模拟技术 .....	47	<b>〔水文地质与工程地质〕</b>	
煤田地球物理测井 .....	267	<b>煤田水文地质</b> .....	287
电测井 .....	60	富水系数 .....	90
放射性测井 .....	81	含水层 .....	107
声波测井 .....	372	隔水层 .....	98
倾角测井 .....	359	煤矿床水文地质类型 .....	247
温度测井 .....	415	水文地质勘探 .....	387
孔内技术测井 .....	160	水文地质测绘 .....	386
矿井物探 .....	187	水文地质物探 .....	389
地质雷达法 .....	53	水文地质钻探 .....	391
无线电波透视法 .....	418	水文地质试验 .....	388
槽波法地震勘探 .....	11	抽水试验 .....	25
<b>〔煤田物探仪器〕</b>		放水试验 .....	85
直流电法仪 .....	449	专门水文地质勘探 .....	463
交流电法仪 .....	125	矿区供水水源勘探 .....	188
数字地震仪 .....	385	矿区水资源评价 .....	192
检波器 .....	124	<b>矿井水文地质</b> .....	183
震源 .....	448	矿井水文地质规程 .....	184
煤田测井仪 .....	263	矿井水文地质类型 .....	185
地球物理勘探数据处理 .....	39	矿井（坑）充水条件 .....	175
<b>〔煤田物探资料地质解释〕</b>		矿井（坑）涌水量 .....	177

井筒涌水量 .....	130
矿井疏干 .....	179
矿井(坑)排水 .....	176
矿井突水预测 .....	185
地表水防治 .....	38

煤矿水害治理(见安全·环保卷) .....	251
注浆堵水(见矿井建设卷注浆技术) .....	463
煤矿工程地质 .....	249
煤矿区地质灾害 .....	250

## 测 量

矿山测量学 .....	583
-------------	-----

### [测量基本要素]

水平角测量 .....	647
垂直角测量 .....	501
方位角 .....	520
距离测量 .....	568
高程测量 .....	521
平面坐标 .....	619
大地坐标 .....	503

### [矿区地面测量]

矿区平面控制测量 .....	580
平面坐标系 .....	620
坐标换算 .....	668
平面控制网技术设计 .....	618
基线测量 .....	539
光电测距 .....	528
三角测量 .....	633
三角测量概算 .....	636
三边测量 .....	628
边角测量 .....	487
导线测量 .....	505
矿区高程控制测量 .....	579
高程系统 .....	522
水准测量 .....	648
三角高程测量 .....	639
全球定位系统测量 .....	623
矿区地形测量 .....	578
平板仪测图 .....	617
数字地形测量 .....	645
航空摄影测量 .....	531
遥感图象制图 .....	662

地面摄影测量 .....	514
近景摄影测量 .....	546
地籍测量 .....	513
建井测量 .....	544
近井点测量 .....	546
立井十字中线标定 .....	596
立井施工测量 .....	593
马头门施工测量 .....	608
井底车场施工测量 .....	551
硐室施工测量 .....	519
井架施工测量 .....	553
井塔施工测量 .....	554
矿井提升设备安装测量 .....	577
[特殊凿井施工测量]	
冻结凿井法施工测量 .....	517
注浆凿井法施工测量 .....	666
帷幕凿井法施工测量 .....	658
钻井凿井法施工测量 .....	667
沉井凿井法施工测量 .....	499
井筒延深测量 .....	555
矿区铁路施工测量 .....	581
工业场地建筑物施工测量 .....	523
生产矿井测量 .....	645
矿井联系测量 .....	575
几何定向 .....	541
陀螺经纬仪定向 .....	655
导入高程测量 .....	504
井下基本控制导线测量 .....	566
井下高程测量 .....	564
采区控制导线测量 .....	493
采区测量 .....	492

巷道中腰线标定 .....	535	矿体几何学 .....	588
井巷验收测量 .....	552	矿体几何投影 .....	584
贯通测量 .....	524	地形式面 .....	516
贯通测量误差预计 .....	527	矿体几何制图 .....	589
采煤工作面测量 .....	491	〔煤矿测量常用仪器及工具〕	
矿井三量 .....	576	经纬仪 .....	547
储量管理 .....	500	水准仪 .....	651
实际损失煤量 .....	645	光电测距仪 .....	529
煤矿测量图 .....	609	陀螺经纬仪 .....	654
〔测量误差与平差〕		电子速测仪 .....	516
测量误差 .....	497	平板仪 .....	616
井下导线测量误差 .....	560	激光指向仪 .....	541
误差椭圆 .....	659	悬挂罗盘仪 .....	661
测量平差 .....	494	钢卷尺 .....	521
三角网条件平差 .....	642	水准尺 .....	650
三角网间接平差 .....	641	煤矿开采沉陷 .....	611
三边网条件平差 .....	630	〔开采沉陷测量〕	
三边网间接平差 .....	629	岩体内部移动测量 .....	662
边角网平差 .....	487	地表移动测量 .....	509
导线测量严密平差 .....	506	建筑物沉陷测量 .....	545
水准测量平差 .....	649	铁路沉陷测量 .....	653
三角高程测量平差 .....	640	露天采场边帮移动测量 .....	596
井下导线测量平差 .....	557	地表移动基本参数 .....	512
井下高程测量平差 .....	565	开采沉陷预计 .....	570
露天矿测量 .....	601	煤柱留设 .....	613
露天采场坐标系 .....	600	开采沉陷土地复垦测量 .....	570
露天矿平面控制测量 .....	603	煤矿测量技术法规 .....	609
露天矿高程控制测量 .....	603	《煤矿测量规程》 .....	608
露天采场测量 .....	597		
排土场测量 .....	616	附录一 中华人民共和国法定计量	
露天矿运输线路测量 .....	606	单位 .....	671
露天矿测量图 .....	601	附录二 中华人民共和国法定	
露天矿二量 .....	602	计量单位使用方法 .....	672

# 彩图插页目录

## 地 质

图版 1	煤岩成分 .....	1	图版 23	牙形刺化石、枝脉蕨、孢子花粉 .....	23
图版 2	烟煤显微组分 (一) .....	2	图版 24	斯维德贝尔基枝脉蕨、成煤木材 .....	24
图版 3	烟煤显微组分 (二) .....	3	图版 25	晚二叠世华东植物区景观 .....	25
图版 4	烟煤显微组分 (三) .....	4	图版 26	中侏罗世内蒙古植物区景观 .....	26
图版 5	烟煤显微组分 (四) .....	5	图版 27	始新世东北亚热带落叶阔叶林景观 .....	27
图版 6	褐煤显微组分 (一) .....	6	图版 28	早中侏罗世植物化石 .....	28
图版 7	褐煤显微组分 (二) .....	7	图版 29	晚三叠世植物化石 .....	29
图版 8	煤的成因类型 (一) .....	8	图版 30	侏罗白垩纪植物化石 .....	30
图版 9	煤的成因类型 (二) .....	9	图版 31	煤核 (植物组织) .....	31
图版 10	烟煤显微组分 (一) (黑白) .....	10	图版 32	煤核 (植物结构) .....	32
图版 11	烟煤显微组分 (二) (黑白) .....	11	图版 33	福建省大田含煤区 Lansat-5TM 计算机处理图象 .....	33
图版 12	烟煤显微组分 (三) (黑白) .....	12	图版 34	四川若尔盖沼泽区 Lansat-2MSS 卫星图象 (计算机假彩密度分割图) .....	34
图版 13	透射电镜 (TEM) 图象 .....	13	图版 35	峰峰矿区彩红外航片镶嵌图、旋喷桩施工现场 .....	35
图版 14	扫描电镜 (SEM) 二次电子图象 .....	14	图版 36	喀斯特景观、大型溶斗 (塌陷)、井下放水试验现场、煤矸石山自然发火现象 .....	36
图版 15	水平层理、大型交错层理 .....	15	图版 37	煤层气钻孔试井及泥浆气测录井 .....	37
图版 16	交错层理、互层层理、透镜状层理 .....	16	图版 38	钻机、泥浆泵 .....	38
图版 17	波痕、干裂 .....	17	图版 39	钻头 .....	39
图版 18	串珠—似瘤状构造、叠层石、雨痕 .....	18	图版 40	DYSD 型系列多道遥测式矿井数字地震仪、BQX-2 型全方位钻孔测斜仪 .....	40
图版 19	叠层石、虫迹、生物潜穴 .....	19			
图版 20	螺旋潜迹、褶皱及断层、群体珊瑚 .....	20			
图版 21	自生高岭石、葵花状黄铁矿、莓状黄铁矿、硅藻土 .....	21			
图版 22	莓状黄铁矿、狼鳍鱼、贝壳动物化石、三叶虫 .....	22			

图版 41	大雁三矿首采区高分辨地震成果剖面图 .....	41
图版 42	三维地震剖面及其立体示意图 .....	42
图版 43	三维地震倾向剖面 .....	43
图版 44	三维地震走向剖面 .....	44
图版 45	三维地震等时切片 .....	45
图版 46	MRD-Ⅰ 瑞利波探测仪、	

DYSD 型系列多道遥测式	
矿井数字地震仪、瞬变电磁法	
探测地下洞系统 .....	46
晋华宫矿 7 号煤层 8303 工	
作面槽波相对透射系数图 .....	47
大同矿务局晋华宫煤矿 8303	
工作面弹性波 CT 成象图 .....	48

## 测 量

图版 49	彩红外航空象片 .....	49
图版 50	全球定位系统 .....	50
图版 51	光学经纬仪、全数字式电子经纬仪、游标经纬仪 .....	51
图版 52	激光经纬仪、微倾斜式水准仪 .....	52
图版 53	精密水准仪、自动安平水准仪 .....	53
图版 54	望远镜上装载型测距仪、经纬仪柱上装载型测距	

	仪、全站型电子速测仪 .....	54
图版 55	反射器系统 .....	55
图版 56	照准仪、多用照准仪 .....	56
图版 57	防爆型激光指向仪、罗盘 经纬仪 .....	57
图版 58	普通水准尺、精密水准尺 .....	58
图版 59	工业场地平面图 .....	59
图版 60	井上下对照图 .....	60
图版 61	采掘工程平面图 .....	61
图版 62	工业场地煤柱图 .....	62

# 地 质





## A

Abalaqiya Meitian

### 阿巴拉契亚煤田 (Appalachian Coalfield)

美国石炭二叠纪煤田，位于美国东部阿巴拉契亚山地，跨宾夕法尼亚、俄亥俄、西弗吉尼亚、弗吉尼亚、肯塔基、田纳西、阿拉巴马等州；呈北东—南西方向延展，长1200~1250km，宽50~300km，含煤岩系分布面积约18万km<sup>2</sup>。其煤产量约占全美煤产量的50%，烟煤证实储量占全美的43.5%。美国无烟煤资源几乎全集中在这一煤田，主要蕴藏在宾夕法尼亚州东部。

**地层** 主要含煤岩系是上石炭统宾夕法尼亚系和下二叠统邓卡德 (Dunkard) 组。

含煤岩系下伏地层为下石炭统密西西比系，分布在煤田四周，为滨海相岩系。其下部为砂岩、粉砂岩夹不稳定煤层；中部主要是石灰岩和白云岩；上部为杂色和黑色页岩。厚度变化大，一般500~900m，局部可达3000m。

(1) 宾夕法尼亚系。以海陆交互相沉积为主，与密西西比系呈不整合接触，在煤田北部厚360~900m，分为四个组，由下而上为波茨维尔 (Pottsville) 组，厚100~150m；阿勒格尼 (Allegheny) 组，厚100~160m；康尼莫 (Connemaugh) 组，厚130~250m 和莫农加希拉 (Monongahela) 组，厚90~200m。它们主要由细砂岩、粉砂岩、粘土岩和煤层组成。除下部波茨维尔组外，其它三个组均含有若干层石灰岩，而且各组石灰岩层数和厚度由下往上逐渐增加。在煤田中部的西弗吉尼亚州，与波茨维尔组下部和中部相当的纽里弗 (New River) 组底部，还发育有200m厚的波卡洪塔斯 (Pocahontas) 组，而在肯塔基、弗吉尼亚和田纳西州，与这两组相当的是利 (Lee) 组，厚60~65m。

(2) 下二叠统邓卡德组整合于宾夕法尼亚系之上，厚达300m，也由细砂岩、粉砂岩、泥岩、石灰岩及煤层组成。石灰岩一般为煤层顶板。

含煤岩系上覆地层为第四纪冰碛层和坡积层。

**构造** 阿巴拉契亚煤田是一呈北东—南西向延展

的复向斜构造。煤田内部的背斜和向斜两翼呈缓倾斜状。北部石炭纪地层近于水平，一般4°左右，往东南，褶皱强度增大，再往南在阿拉巴马州，宾夕法尼亚系强烈揉皱，断裂发育。海西运动使煤田上升为陆地，下二叠统被第四纪冰碛层和风化坡积物所覆盖。煤田内部断裂以小型逆断层为主，区域性大断裂大部分分布在煤田边缘地区。

**含煤性** 阿巴拉契亚煤田宾夕法尼亚系含煤23~42层，其中可采煤层12~22层，以阿勒格尼组和莫农加希拉组含煤最丰富，其次是波茨维尔组，再次为康尼莫组。波茨维尔组开发强度最大的两个煤层，厚度分别为1.85m和大于3m，煤种为次烟煤，低灰低硫；阿勒格尼组各煤层质量好，厚度均不超过1.2~1.3m，结构稳定；莫农加希拉组含四层煤，主要煤层厚度达3m，是优质炼焦煤，但含硫较高。下二叠统的煤仅在煤田北部发现，一般含煤六层，但一般厚度不大，仅0.5~0.6m。其中有一层在某些地段厚1.6~3.2m。

该煤田的煤属中、低灰煤，灰分约为10%。其它煤质指标随变质程度变化大：水分可由1%变到3%；挥发分可由9%变到30%，且东南部含量低，北部和西南部含量高；发热量可由30.1MJ/kg增至33.1MJ/kg；硫含量较低，平均为2.5%，在剖面中，从下往上逐渐增加。

**资源** 阿巴拉契亚煤田的煤炭资源总量为316.8Gt，计算深度1800m，占美国全国总资源量的9%。其中，900m以浅308.4Gt。该煤田勘探程度较高，鉴别储量（埋深900m以浅）252.6Gt，占该煤田资源量的80%。其中烟煤鉴别储量233.7Gt，占全美烟煤鉴别储量的35%。该煤田煤炭证实储量101Gt，占全美煤炭证实储量的25%。其中，烟煤占43.5%。美国的无烟煤鉴别储量几乎全部集中在该煤田，占全美93.6%。

**开采地质条件** 阿巴拉契亚煤田的开采地质条件较好。现有矿井开采深度一般浅于100m，绝大部分煤层埋藏呈近水平状，平均开采厚度1.7m，断层少，顶

板坚硬,瓦斯含量少,地形切割深,既宜于露天开采(该煤田露天矿产量占全美露天开采总量50%以上),又可采用平硐和斜井开采,便于采用机械化采煤技术进行高效生产。

**开发概况** 由于位置优越、交通方便、煤层赋存条件和煤质较好,该煤田是美国最早开发的矿区,早在1750年就在弗吉尼亚州正式开始采煤。1900年年产量达176Mt,历史最高产量曾达460Mt(1918年)。1947年年产量曾占美国全国的75%。现年产量约410Mt。该煤田是美国煤炭出口的主要基地。同时,其煤炭工业带动了钢铁、电力、机械、化学等工业部门发展,成为美国主要的综合工业区之一。

(沈震鹏)

Aibota Meitian

**艾伯塔煤田 (Alberta Coalfield)** 加拿大中生代与新生代煤田,位于加拿大西部落基山东坡,分布范围包括艾伯塔省南半部及不列颠哥伦比亚省东北部和东南部。该煤田呈北西—南东方向,往南延伸与美国落基山含煤区相衔接。本煤田主要蕴藏硬煤,其鉴别储量占全加硬煤鉴别储量的92%,年产量约占全加总产量的70%以上。

艾伯塔煤田可分为内、外山麓带及平原区三部分,山麓带与落基山脉走向平行,平原区在山麓带东侧。这些区的含煤地层、煤质及地质构造特点各不相同(图1)。

**地层** 艾伯塔煤田为多纪煤田,含煤岩系主要有

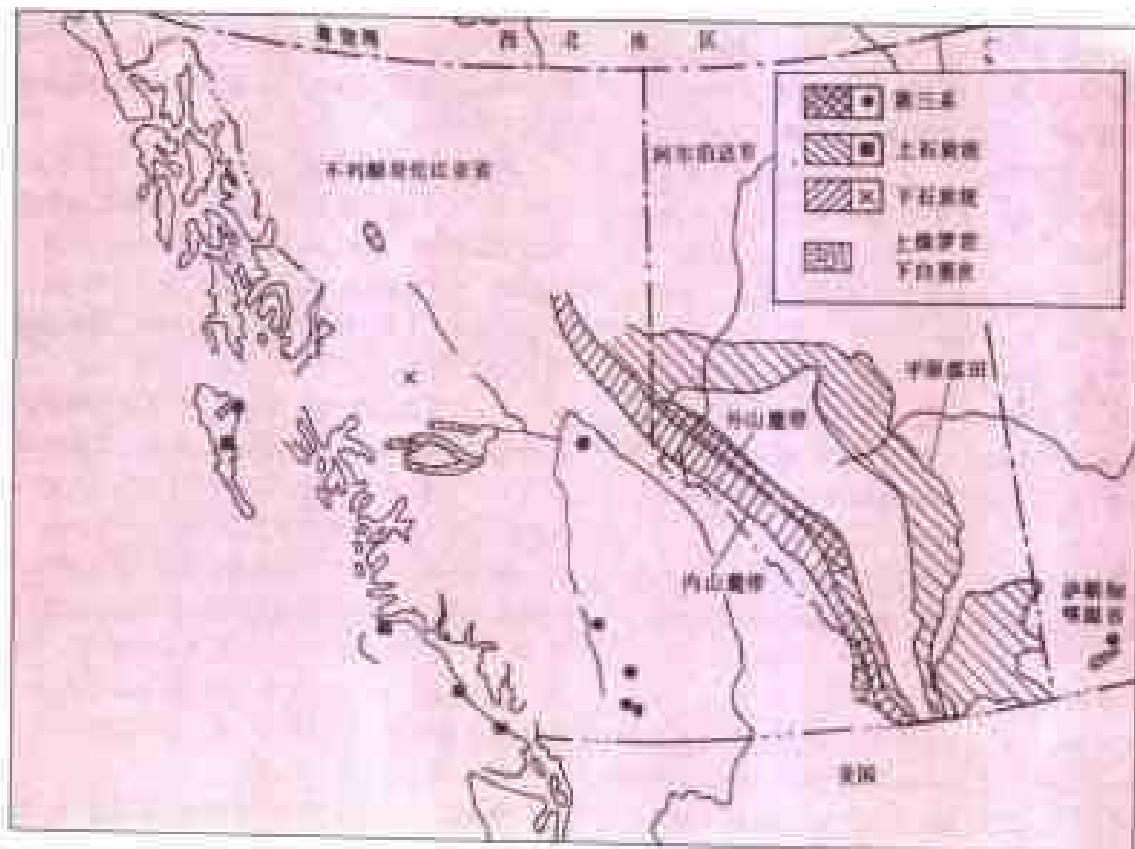


图1 艾伯塔煤田含煤地层分布示意图

(据 A. B. Szwilski, 1980)

上侏罗统、下白垩统、上白垩统和下第三系。上侏罗统和下白垩统主要分布在内山麓带,上白垩统和下第三系分布在外山麓带及平原区。

(1) 上侏罗统库特内(Kootenay)群。由非海相粉砂岩、砂岩和泥岩组成,最厚达630m,在不列颠哥伦比亚省所含煤层层数多、厚度大,往东变薄,且不含煤。

(2) 下白垩统曼维尔(Mannville)群。与上侏罗统不整合接触。大部分由河流相、三角洲相沉积物组成。厚度为270~600m。其上部含若干厚煤层。在煤田中部,此群沉积最厚,分布最广。个别煤层厚度大于4.5m,煤层累计厚度超过12m。

(3) 上白垩统是该煤田最主要的含煤岩系,形成于河流、湖泊及浅海沉积环境。主要由砂岩组成,夹有煤

层、粉砂岩和页岩。它与曼维尔群之间有一海相岩组，其顶部的页岩组为与下第三系含煤岩系分界的标志层。上白垩统总厚约1000m，其下段贝利河(Belly River)组的上部和下部都含多层可采煤层，横向较稳定，个别煤层厚度达3m，下段累计煤层厚度达6m。上段霍斯舒坎宁(Horseshoe Canyon)组含煤13层，在煤田中部其厚度达5m，上段累计煤层厚度达12m；在煤田西北部煤层厚度达3m。

(4) 斯科勒德(Scollard)组属于上白垩统顶部至下第三系，是本煤田最上部含煤岩系，由陆相细粒沉积物组成，含有最厚和最连续煤层。全加闻名的阿德利(Ardley)煤层就蕴藏在该组内，厚度达5m，全组累计煤层厚度达24m。

含煤岩系顶部常覆盖冰碛层，厚度由数米至数百米。

**构造** 艾伯塔煤田地处艾伯塔前缘拗陷与地台翼部。煤田西部山麓带为沉降最深部分，属于叠瓦状褶皱

带，呈现为极复杂的叠瓦—逆掩构造。逆掩断层面在接近地表处较陡，往深部变缓。该带断层发育，在褶皱轴部可见煤层增厚和牵引褶皱。煤田东部平原区显示不明显的地台型构造，而且背斜发育。背斜两翼发育有次级穹窿构造。从区域总体看，岩层朝西和西南方向倾斜，在平原区东部则近似水平，而在山麓附近岩层倾斜度大致为8.6m/km。

煤田西部和东部火山活动显示不同。西部山麓区，下白垩统中出现凝灰岩和粗面岩岩脉，而在东部平原区，上白垩统中见玢岩和安山岩侵入体。

**煤质** 艾伯塔煤田蕴藏的煤种较多，其分布具规律性。各煤级分带大致与落基山平行，煤级由西向东逐渐降低，在山麓区内山麓带主要分布低和中挥发分烟煤；外山麓带为高挥发分烟煤；而在平原区则为次烟煤。同时，随着煤层埋藏深度增大，煤级也增高。平原区煤化梯度约为5.34kJ/(kg·m)，即浅部为次烟煤，深部为烟煤(图2)。

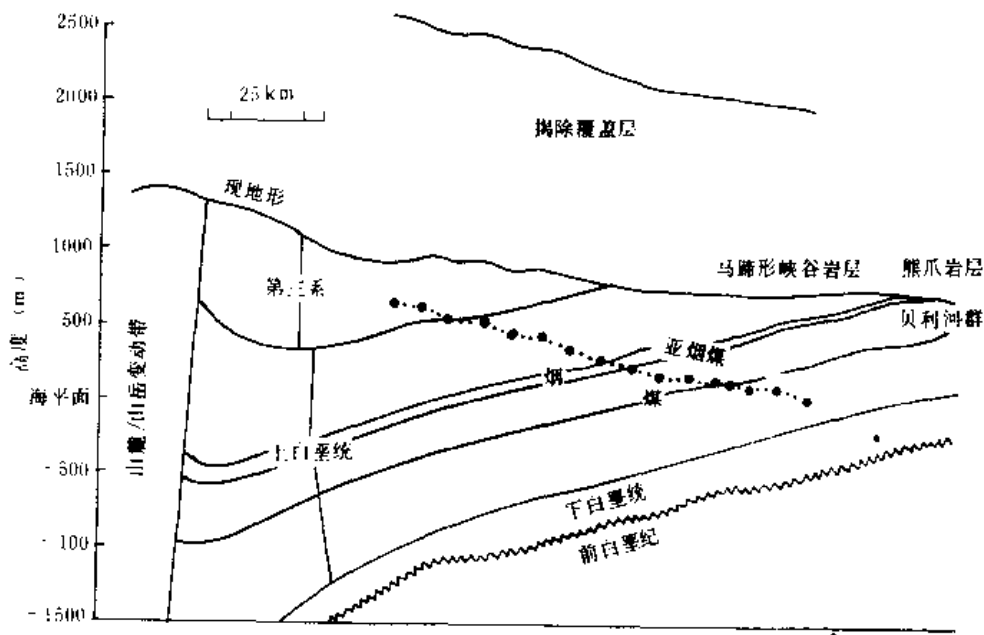


图2 艾伯塔煤田中部平原区地质剖面示意图  
(据 W. C. Gussow, 1962)

平原区晚白垩世早第三纪煤的工业分析指标大致如下：水分14%~20%，甚至小于1%；灰分11%~16%；挥发分40%~44%；发热量28~30MJ/kg；硫分0.32%~0.66%。山麓带库特内群煤的工业分析指标为：水分4.7%~11%；灰分22%~28%；挥发分25%~52%；发热量30~35MJ/kg；硫分0.4%~0.7%。这类煤适于炼制优质焦炭。艾伯塔煤田的煤中

硫分都低(0.3%~0.7%)，属极低硫煤。

**资源** 艾伯塔煤田的煤炭资源量估计为175Gt，占全加煤炭资源量的54%，占全加硬煤资源量的91.5%。该煤田勘探程度较高，鉴别储量约90Gt，占全煤田资源量的51%，占全加硬煤鉴别储量的92%；证实储量约22Gt，占全煤田资源量的12.5%。平原区煤炭资源丰富，约145Gt，占全煤田资源量的83%。

**开采地质条件** 艾伯塔煤田山麓区线性褶皱发育,纵、横断层复杂,有些矿区的煤层呈急倾斜,断裂发育,煤层顶、底板破碎;有些矿区的煤层强烈挤压褶皱与支离破碎的纵向断层相间,褶皱顶部或底部煤层增厚成煤包,其厚度可为正常煤层厚度的3~5倍,有的地区达27~50m,矿井大多布置在向斜轴部地段。

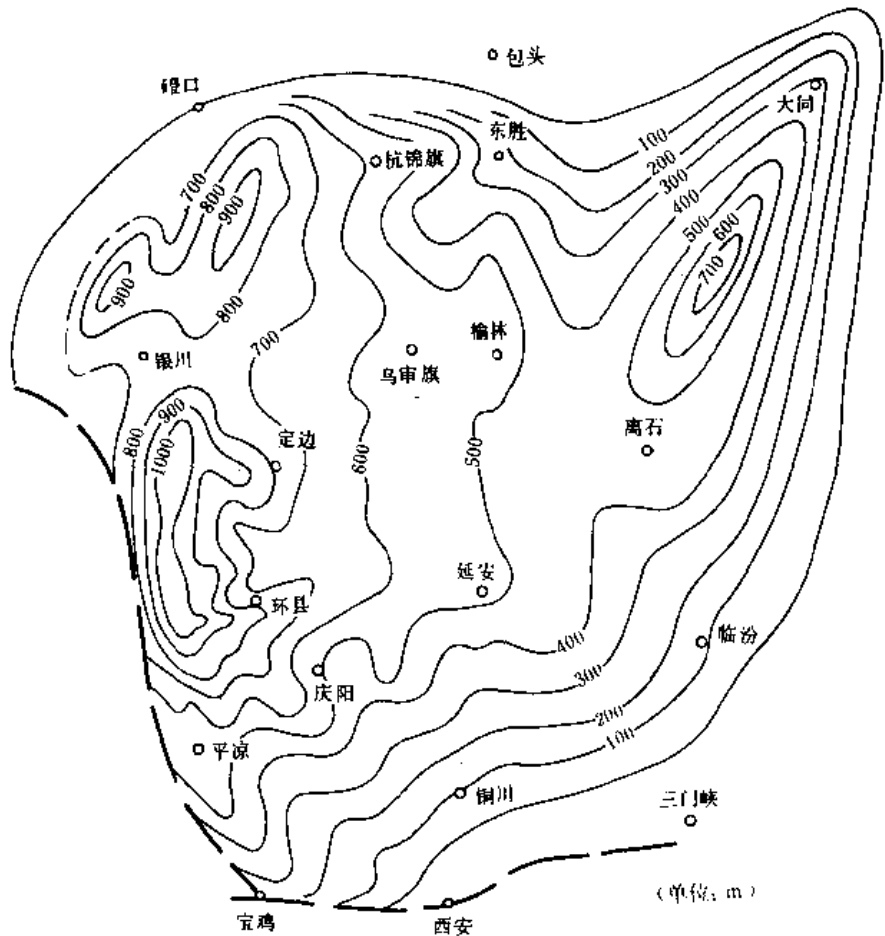
平原区煤层呈近水平至缓倾斜,横向分布广泛,煤层在中部埋深仅约25m,向西部加深,靠近落基山区埋深大于250m。各个煤带煤层的厚度有变化,可采煤层呈似透镜状,并有分岔、尖灭现象,有些部位不可采。煤层顶板不坚固;底板中等坚固,呈缓波状起伏。煤层裂隙发育。

**开发概况** 艾伯塔煤田于1793年发现,由于地处偏僻,远离加拿大东部工业区,至20世纪50年代仍只有几个小矿,60年代开始较大规模勘探,70年代后期煤产量大幅度增加,目前煤炭年产量在50Mt以上,主要是炼焦用煤,大部分供应出口。从1974年开始,在该煤田进行石油和煤层气研究,在1000m以深发现煤层。近年来,加强了煤层气研究,该煤田可望成为加拿大煤层气开发基地。

(沈震鹏)

aoxian meipendi

**坳陷煤盆地** (depression coal basin) 又称波状坳陷聚煤盆地,由于地壳坳陷而成,含煤岩系基底面呈波状起伏,连续或基本连续,断裂不发育的煤盆地。坳陷由岩石圈挠曲变形引起,此种变形可源于沉积一构造负载、侧向挤压或深部因素。大型的坳陷盆地形成于古老而相对稳定的基底(如地台内部)。北美石炭纪的密执安盆地和伊利诺斯盆地是大型坳陷煤盆地的两个典型。中国最大的坳陷煤盆地是华北石炭二叠纪煤盆地,其北界内蒙地轴、南界为大别地块,含煤岩系覆盖了华北地台的大部分面积;鄂尔多斯和大同侏罗纪煤盆地是中生代坳陷煤盆地的典型代表。这两个煤盆地在侏罗纪时可能相连,属于同一聚煤盆地(大鄂尔



鄂尔多斯聚煤盆地及邻近地区侏罗系等罩线图  
(据叶连俊、田兴有等,1983;杨士恭,1991修编)

多斯聚煤盆地),后期形变被分割开(上图)。

坳陷煤盆地的主要特征可概括为:

(1)形成于较为稳定的基底上。多数是古老地台基底,少数为上叠于古生代造山带基底。

(2)盆地基底界面连续或基本连续。沉降幅度是渐变的,没有断陷盆地中那种地层厚度和相带的突然变化。

(3)盆地的沉降相对稳定和缓慢。华北地台的石炭二叠纪含煤岩系,华南扬子地台的晚二叠世含煤岩系以及鄂尔多斯盆地的侏罗纪含煤岩系,厚度一般都小于500m,且横向变化不大,缓慢向边缘变薄。

(4)古地理方面。中国古生代的坳陷煤盆地多为近海型含煤岩系,横向变化一般不大,盆地演化过程中周期性地出现内陆表海环境(如华北的石炭二叠系煤盆地)。中国中生代的坳陷煤盆地以陆相为主,常发育有大型内陆湖泊及其周缘的三角洲。此外,中生代煤盆地中也有些近海坳陷盆地,周期性地受海流影响(如晚三叠世的四川煤盆地)。

(5)盆地规模一般较大。常形成较稳定的大面积分

布的煤层。中国鄂尔多斯侏罗纪煤盆地延安组含煤岩系现保存面积约为19万km<sup>2</sup>，根据重建的古地理面貌判断，该聚煤盆地的面积可能还要大一倍；华北石炭—二叠纪聚煤盆地面积更辽阔。由于后期的构造变形和剥蚀，聚煤盆地被分割，形成了现今许多独立的煤田（如沁水、开滦、太原西山、淮南、淮北和豫西煤田等）。

中国大部分煤炭工业基地都分布于拗陷煤盆地之

中。

### 参考书目

杨起、韩德馨等，《中国煤田地质学》上册，煤炭工业出版社，1973。

武汉地质学院煤田教研室，《煤田地质学》上册，地质出版社，1979。

（李思田）

B

banjingzhizu

**半镜质组** (semivitrinite) 烟煤中性质介于镜质组和惰质组之间，且接近于镜质组的过渡型显微组分。半镜质组这一术语于1956年在苏联煤岩工作者会议上首次提出，后被中国煤岩工作者广泛应用，并作为1978年中国烟煤显微组分分类中的显微组分之一。

半镜质组按其细胞结构保存程度，分为结构半镜质体 (semitelinite) 和无结构半镜质体 (semicollinite) 两种组分。粒度小于10μm的半镜质组称碎屑半镜质体 (semivitrodetrinite)。在无结构半镜质体中可分出均质半镜质体 (semitelocollinite)、基质半镜质体 (semidesmocollinite) 和团块半镜质体 (semicorpocollinite) 三种亚组分。

在低、中煤级烟煤中，半镜质组的透光色呈棕红至

红棕色，略深于镜质组，在反光油浸镜下，比共生的镜质组色浅，为灰至浅灰色，无突起或微突起，反射率比镜质组高0.2%~0.3% (参见彩图插页第3页6)。

半镜质组的挥发分、氢含量、氢碳原子比略低于镜质组，而密度、碳含量、芳碳率略高于镜质组 (下表)。热解时，半镜质组软化变形微弱，仅有微量液态产物形成，不足以流动，熔融温度区间窄，属微熔性组分。

中国晚古生代煤中半镜质组含量一般低于10%，不少中生代煤中半镜质组含量超过10%，有时可达25%以上。

**假镜质组** (pseudovitrinite) 美国 L. G. 贝尼狄克特 (L. G. Benedict) 等于1966年提出的显微组分术语。其主要特征与中国烟煤显微组分分类中的半镜质组相似。

中国烟煤中镜质组、半镜质组和惰质组的若干基本性质

产地、时代	显微组分	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	V <sub>max</sub> (%)	C <sub>ad</sub> (%)	H <sub>ad</sub> (%)	挥发分 于105℃ (%)	芳碳率 (%)	R <sub>max</sub> (%)	资料来源
山东兖州西陈庄 P <sub>2</sub>	镜质组	1.273	44.32	83.87	5.73	0.82	0.64	5.44	寇博 1983
	半镜质组	1.313	43.10	87.27	5.30	0.71	0.66		
	惰质组	1.353	21.52	82.82	4.24	0.54	0.82		
山西大同云冈 J <sub>2</sub>	镜质组	1.30	39.7	83.1	5.47	0.79	0.70	0.78	杜瑞华 1984
	半镜质组	1.36	39.7	84.7	4.46	0.61	0.76		
	惰质组	1.45	17.5	88.1	3.12	0.48	0.91		
四川达县白夹坪 T <sub>2</sub>	镜质组		32.78	88.58	5.82	0.73	0.75	15.39	黄烈从 1986
	半镜质组		30.10	82.48	5.06	0.69	0.72		
	惰质组		27.45	88.36	4.47	0.58	0.84		

(续前)

biancai biantan

**边采边探** (exploitation along with exploration) 利用探井、探硐、探巷、沿煤层掘进等坑探工程进行的勘探与开采兼顾的工作。在煤炭资源

贫缺地区，由于地质条件复杂，煤炭资源条件较差，一般不宜进行正规的、系统的煤田地质勘探工作，特别是对年产5万t以下的小煤矿，主要通过矿点检查作出评价后，进行边采边探，以减少钻探工程量。



中国南方广东、广西、福建、浙江、江西、湖北、湖南以及苏南、皖南等煤炭资源贫缺省、自治区,由于地质构造复杂或极复杂,含煤岩系变化大,含煤性差,对比困难,煤层不稳定(串珠状、藕节状)或极不稳定(凸透镜状、鸡窝状、瓜藤状),煤炭资源条件仅能建年产9万t以下(不含9万t)的小煤矿。开办这类小煤矿,具有投资少、建设快、要求储量少(一般数十万吨到300万t左右)的特点,对发展地方工业和满足民用具有重要意义。

小煤矿的勘探方法,一般在比例尺地质填图或普查的基础上,不分勘探阶段,按一次勘探完毕的原则进行,重点查明浅部地质构造特征和煤层赋存情况。①勘探手段选择。以地质填图、坑探工程、老窑调查为主,钻探工程只作为辅助手段,用以控制深部。②坑探工程布置。尽可能使其可供小煤矿开采时利用。③勘探工程布置。一般在井田浅部中央、先期开采地段,布置一至数条主导勘探线,以提高控制程度和地质研究程度。对影响开采的水文地质条件,瓦斯及煤层顶、底板情况,主要通过生产小窑调查加以解决。储量计算方法。一般采用统计法。首先根据勘探和开采资料计算出单位面积上的平均含煤量,即平均含煤密度 $p$ ;或计算出单位体积含煤岩系中的平均含煤量,即平均含煤率 $q$ ;有时还需加上一个改正系数 $k$ 。储量计算公式为

$$Q = s \cdot p \cdot k \text{ 或 } Q = v \cdot q \cdot k$$

边采边探工作在勘探程度上,要求提交C+D级储量,其中C级储量应占30%~50%,储量计算的最大深度一般不超过300m。最后提交小煤矿勘探地质报告。

(许友志)

buqu xin zuanjin

**不取心钻进** (non-core drilling) 又称无岩心钻进、全面钻进,钻凿钻孔时,钻头全面破碎孔底岩石,不保留岩心的钻进方法。不取心钻进的关键,在于钻头的结构型式,必须保证将孔底岩石毫无保留地全部破碎。制做钻头的切削具和磨料,可根据所钻岩层的性质分别选用硬质合金、金刚石或其它超硬材料。不取心钻进不存在保护岩心和防止岩心堵塞的问题,也不需限制回次进尺,通常还允许采用强力规程钻进,因而钻进高、回次进尺长,减少了升降钻具的次数,大幅度地增加了纯钻进时间(这一点比绳索取心钻进还要突出),使钻进成本降低,在技术操作上也较岩心钻进容易、事故少。

现阶段,不取心钻进主要用于不需采取岩心的岩层,包括第四纪冲积层、覆盖层,无煤层段,地质构造简单且已有一定数量钻孔控制的层段以及不影响煤层评价的加密孔、追索圈定孔的非煤层段等。物探爆破孔、注浆孔、抽放瓦斯孔、探放水孔,以及其它一些工程技术钻孔,通常都是采用不取心钻进。

不取心钻进主要根据及时采集岩屑以及测井曲线来了解所钻岩层的地质情况,现阶段尚不能完全替代取心钻进,但允许在同一钻孔的非含煤层段中有条件地使用。取心钻进与不取心钻进在同一钻孔混用的钻进方法,称混合钻进。随着对勘探区研究程度的加深以及地面物探、化探、测井、孔壁取样和采集岩屑等设备与技术的完善与提高,特别是缩短勘探周期和降低成本的迫切要求,有可能,也有必要积极向全孔不取心钻进配合地面物探、测井、孔壁取样和岩屑录井的综合施工技术方向发展。目前,中国对地质勘探不取心钻进的适用范围有明确规定和具体要求。在煤田地质勘探中,不取心钻进工程量占钻进总工程量的25%左右。

(赵贵祥)

## C

canzhimei

**残植煤** (liptobiolith) 又称残殖煤, 腐植煤类的一种, 由高等植物遗体中的角质层、树皮、孢子、花粉和树脂等稳定组分, 在湖沼环境经残植化作用富集, 再经成煤作用转变而成的煤。残植煤的稳定组分占有机显微组分总量 50% 以上。稳定组分含量达不到 50%, 则依据主要稳定组分分别称为富孢子暗煤、富角质暗煤等, 而不属于残植煤范畴。

残植煤呈灰褐、灰黑等色, 光泽暗淡或具油脂光泽, 韧性较大, 呈薄层状、条带状或叶片状结构。由于其挥发分和氢含量高, 因而焦油产率高, 为良好炼油原料。残植煤按其稳定组分不同, 可分角质残植煤、树皮残植煤、孢子残植煤和树脂残植煤等类型。

**角质残植煤** (cutinitic liptobiolith) 以角质层为主的残植煤。其光泽暗淡, 常具叶片状结构, 坚韧, 略具弹性。

角质残植煤煤质指标表

产地	煤种	$V_{daf}$ (%)	$C_{daf}$ (%)	$H_{daf}$ (%)	$S_{t,d}$ (%)
中国 桂西	叶片状	65.30	71.50	8.10	1.50
		78.45	83.00	8.70	1.54
		80.00	83.40	8.80	1.25
		86.80	82.60	7.30	0.72
俄罗斯 巴尔扎斯	叶片状	78.10		8.30	0.78
	条带状	87.70		10.30	1.64

中国云南中泥盆世禄劝煤, 为由蕨类茎干角质层所形成的典型角质残植煤; 煤层不稳定, 呈透镜状, 厚达 40~50cm, 一般 10~30cm 不等; 煤呈褐黑或深褐色不等, 光泽暗淡, 具弹性, 层理清晰, 呈显著叶片状结构, 状若叠纸, 部分呈微密板状。显微镜下观察, 禄劝煤主要由角质体组成, 一般占 60%~75% 左右, 有时高达 85% 以上, 甚至 90%。其角质体主要有厚壁角

质体、薄壁角质体及部分中厚角质体 (参见彩图插页第 9 页 5), 其它有少量孢子体、基质镜质体等显微组分, 常见矿物有黄铁矿、方解石、石英及粘土矿物, 焦油产率高。

俄罗斯库兹涅茨煤田巴尔扎斯煤, 为由泥盆纪裸蕨茎干角质层形成的角质残植煤, 煤级介于褐煤—长焰煤之间 (左下表)。

**树皮残植煤** (bark liptobiolith) 以树皮体为主的残植煤。中国江西乐平、浙江长广煤田的晚二叠世煤为典型的树皮残植煤, 又称乐平煤, 略具油脂光泽, 有韧性, 易燃, 有沥青味, 线理状结构为主, 显微波状水平层理。其显微组分以木栓组织和栓内层为主, 木栓组织的细胞具多角形、椭圆形等外形, 在垂直切面上常呈叠瓦状排列, 树皮体含量大于 65%, 有部分基质镜质体、粗粒体及少许角质体碎片, 煤中含有较多黄铁矿和粘土矿物, 其  $V_{daf}$  为 65.2%,  $H_{daf}$  为 7%,  $S_{t,d}$  为 2.1%, 为气煤 (参见彩图插页第 8 页 2、3)。

**孢子残植煤** (sporinitic liptobiolith) 以孢子外壁为主的残植煤。其光泽暗淡, 致密, 常具粒状结构, 有韧性, 大多呈透镜体或夹层出现于煤层中。晚古生代孢子植物繁盛, 因此孢子残植煤多发育于晚古生代含煤岩系中。俄罗斯莫斯科煤田以及基泽尔煤田早石炭世煤中都有孢子残植煤, 主要由大孢子组成,  $A_d$  为 2.4%,  $V_{daf}$  为 65.8%,  $C_{daf}$  为 72.2%,  $H_{daf}$  为 7.0%,  $S_{t,d}$  为 1.2%。中国山西大同煤田、山东兖州煤田、河南平顶山煤田都发现了孢子残植煤的薄层或透镜体。

**树脂残植煤** (resinitic liptobiolith) 以树脂体为主的残植煤。其光泽暗淡, 致密, 具有韧性, 可见数量较多的椭圆状、针状或小棒状树脂体。中国黑龙江东宁煤田早白垩世含煤岩系中即有树脂残植煤, 呈深褐色, 光泽暗淡, 常见线理状及条带状结构, 针棒状树脂体长约 2~5mm 不等, 显微镜下观察, 壳质体含量占 58%~90%, 平均 76%, 其中树脂体占绝大多数, 有时高达 90%,  $A_d$  为 27.4%,  $V_{daf}$  为 67.57%,  $H_{daf}$  为 7.59%, 所含矿物以粘土矿物为主 (参见彩图插页第 8 页 4)。



中国抚顺第三纪煤田中赋存的琥珀煤,部分即属于树脂残植煤。琥珀可作工艺品和药材用。德国泽次—魏森费尔特的第三纪树脂残植煤,树脂体多呈条带或透镜体赋存煤层中。俄罗斯中生代绥芬煤田也有树脂残植煤,主要显微组分为针棒状树脂体,  $V_{ad}$  为 66.5%,  $H_{ad}$  为 7.49%,  $A_d$  为 58.7%, 焦油产率高,系良好的炼油材料。

(韩德馨)

canzhihua zuoyong

**残植化作用** (liptofication) 又称残殖化作用,在活水、多氧的泥炭沼泽环境中,植物遗体的木质纤维组织被氧化分解散失,稳定组分相对富集的作用。

影响残植化作用的主要因素是沼泽的覆水程度和水介质的化学性质。在覆水较浅的流水沼泽里,流水带动了氧的循环,造成水介质的富氧条件。持续的氧气供给和充分的细菌活动,促使植物遗体氧化分解作用的长期进行。

残植化作用的过程是,植物遗体氧化分解成游离的腐植质等物质,并被流水不断地带走,当木质素、纤维素、蛋白质等在充氧条件下完全分解时,稳定的壳质组组分相对富集。在正常腐植煤中,壳质组组分含量极少超过 20%,但在自然界却存在壳质组高达 50%~60% 以上的残植煤层或分层。镜下观察,在壳质组组分大量富集的煤中,其基质常不透明,这也是氧化分解作用较强的佐证。

有人认为,残植化作用是由沼泽潜水面下降,使植物遗体不能被沼泽水覆盖而受到强烈的氧化分解,其易分解部分被破坏掉,造成了稳定组分的相对富集。

残植化作用的产物若得到及时覆盖并经过煤化作用,即可形成残植煤。

(尹善春)

caobofa dizhen kantan

**槽波法地震勘探** (in-seam seismic survey, ISS)

借助槽波在矿井煤层中的传播探查采煤工作面前方小断层或其它地质异常的一种地球物理方法。它是地震勘探的一个分支。1955 年, F. F. 埃维逊 (F. F. Evison) 在新西兰首次于煤层中激发和接收到煤层波,他认为煤层波是频散波,是煤层制导的勒夫波。1963 年, T. C. 克雷 (T. C. Krey) 发表了槽波频散关系的理论计算及试验结果。随后由于艾里相的应用和井下防爆槽波仪的出现,槽波地震勘探得以

突破性进展,在德、英、捷、澳、前苏联、美等国相继实际应用。1978 起,在中国也开展了试验研究,到 20 世纪 90 年代初,已成为矿井物探的重要方法。

**原理** 含煤岩系中,通常煤层的密度比上下围岩的密度小,地震波在煤层中传播速度低,煤层是一个明显的低速槽。煤层中激发的地震波,部分能量经煤层顶底板多次全反射,互相叠加干涉,被煤层制导,仅在煤层及其附近的二维空间传播,形成槽波(又称通道波, channel waves)。槽波是只在煤层内部传播的地震波,也叫煤层波 (seam waves) 或导波 (guided waves)。当采煤工作面前方有断层、陷落柱、冲刷及变薄带等地质异常时,沿煤层传播的槽波受到阻断,全部阻断时只能观测到反射槽波;部分阻断时,能观测到较弱反射槽波及弱的透射槽波。在同一煤层适当巷道煤壁上或钻孔中安置检波器,可接收到槽波并送到地震仪记录下来。

根据质点振动方向及其极化特征,槽波可分为勒夫型和瑞利型两类(图 1)。

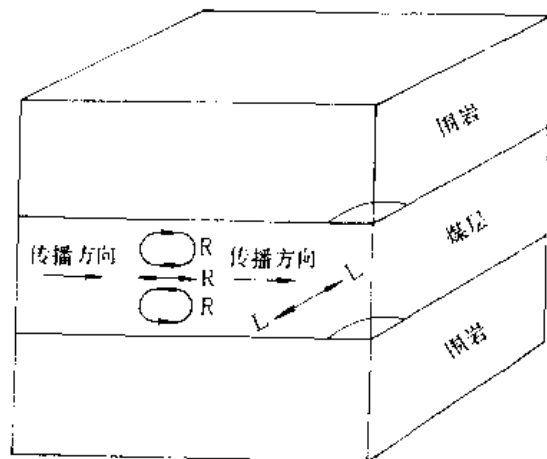


图 1 勒夫型槽波与瑞利型槽波

L—勒夫型槽波; R—瑞利型槽波

(据 T. C. Krey, 1963)

①勒夫型槽波由水平极化横波 (SH 波) 干涉形成,质点在煤层内平行煤层层面、垂直于波的传播方向上振动。②瑞利型槽波由纵波 (P 波) 及垂直极化横波 (SV 波) 在煤层中干涉形成,质点在煤层内垂直于煤层层面、平行于波的传播方向上作逆向椭圆振动,既有水平分量,也有垂直分量。勒夫型槽波的物理构成简单,其形成只要求煤层横波速度小于围岩的横波速度;而瑞利型槽波的物理构成复杂,苛刻地要求煤层的横波及纵波速度两者都要小于围岩的横波速度。实际上勒夫型槽波应用更为广泛。

槽波最重要的特征是频散,即不同频率的振动以不同的速度传播,使得槽波波列随传播而散开,同时使槽波的相速度与群速度具有明显的差异。相速度指单一频率谐和振动的传播速度。群速度指多个频率相近谐和振动组成的波包传播速度。频散越烈,相速度与群速度差异越大。图2给出了对称模型勒夫型槽波的频散曲线,频散的程度主要与煤层的厚度及波在煤层与围岩中的传播速度有关。

群速度曲线极小点附近对应一个特殊的震相,称艾里震相。它总是以频率高且稳定不变、振幅大的特点出现在槽波波列的尾部,较其余部分震相有更小的几何衰减,因此槽波法地震勘探有时仅分析和利用艾里相这一部分槽波。

**数据采集** 槽波法地震勘探是以炸药震源或锤击等震源在煤层中激发槽波,用两分量检波器同时记录两个水平振动分量:一个分量垂直于煤壁;另一个分量平行煤壁。槽波地震仪与地面数字地震仪类似,不同点只是防爆,具有更高的上限频率,更为轻便等。

槽波法地震勘探的基本测量方法有透射波法及反射波法两种。其原理及对应的典型记录示于下页图3。透射波法测量中,震源与检波器分别安置在不同巷道内(包括钻孔、工作面等);反射波法测量中,震源与检波器则安置在同一巷道,与地面地震勘探类似。常采用共反射点多次叠加技术。

若采区内有落差大于煤厚的断层,断层将波导完全阻断,发生反射而无透射槽波;若断层落差小于煤厚,波导部分阻断,则部分能量被反射,部分能量形成透射槽波。根据反射与透射槽波的有无及强弱,即可判断断区内有无异常及阻断的程度。在煤层厚度1.0~3.5m,夹矸厚度小于1/3煤层厚度等有利条件下,槽波法地震勘探可检测落差小于1/2煤层厚度的断层或其它异常。透射的最大距离可达1000m以上。该法检测异常的准确率可达80%以上。反射波法可确定断层位置,探测范围较小,一般在300~400m以内,准确率在60%以上。但不论那一种方法,都不能定量确定断层落差及识别异常的性质。

**数据处理** 槽波的频散及煤层中断层等异常体走向的随意性,使槽波法地震勘探数据处理具有不同于

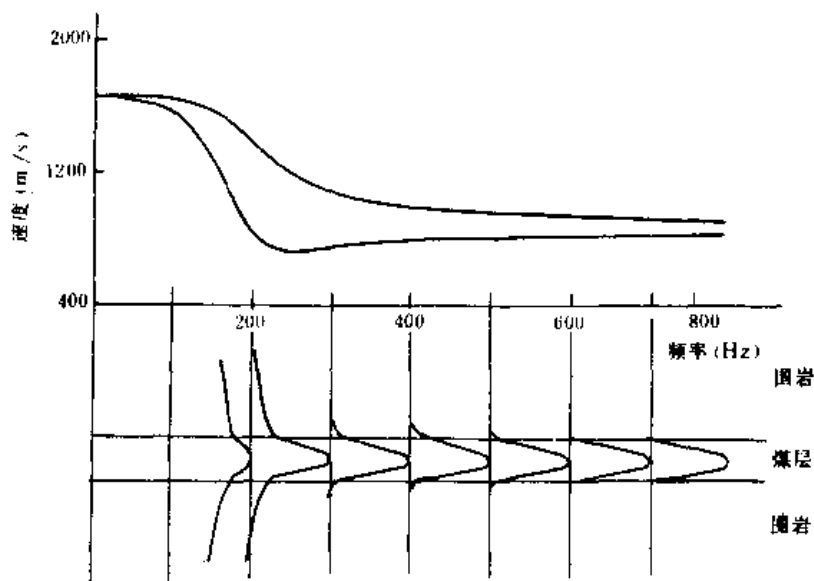


图2 频散曲线与振幅—深度分布曲线

(围岩密度  $2.75\text{g/cm}^3$ , 波速  $1750\text{m/s}$ ;

煤层密度  $1.42\text{g/cm}^3$ , 波速  $900\text{m/s}$ , 层厚  $2.4\text{m}$ )

(据中国大同矿务局)

常规地面地震勘探的一些特殊方法。①两分量记录的极化分析与旋转,用以识别波型,提高信噪比。②频散分析,用以提取速度信息。③包络叠加(计算共反射点道集的低频包络,经动校正后的叠加,14页图4),用以克服槽波频率高,动校正精度不够的矛盾。④再压缩或反褶积,用以克服与减轻几何频散效应,提高分辨率及加大探测范围。⑤动态道集(DTG)叠加,用以修改普通的CDP多次叠加技术以适应槽波地震勘探条件的特殊性。⑥全息成像或散射偏移技术,通过震源或虚震源成像,将时-空域槽波记录数据偏移到空-空域采区或盘区平面图上,使断层等异常归到它的位置上。⑦代数重建(ART)CT成像技术(根据目的物的系列投影,借助计算机重建图象的技术),通过透射记录数据的CT成像,勾绘采区速度异常平面图,以预测矿压、瓦斯、水、陷落柱及冲刷等异常。

**发展趋势** 槽波法地震勘探具有广阔的前景。开发新震源及轻便、防爆、低能耗及价廉的采集系统;开展多波勘探,提高对异常或目标性质的识别能力;提高精度及地质效果,使槽波法地震勘探逐渐完善。

#### 参考书目

D. J. Buchanan and L. J. Jackson, Coal Geophysics Geophysics reprint series, SEG, 1986.

(刘天放)

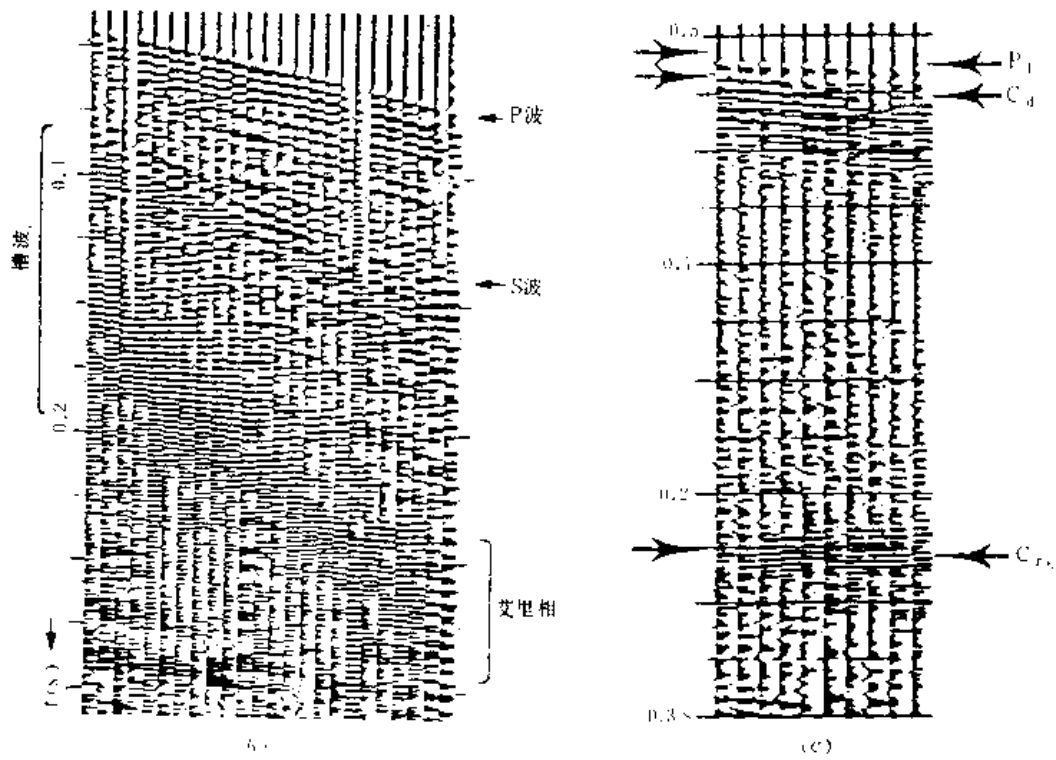
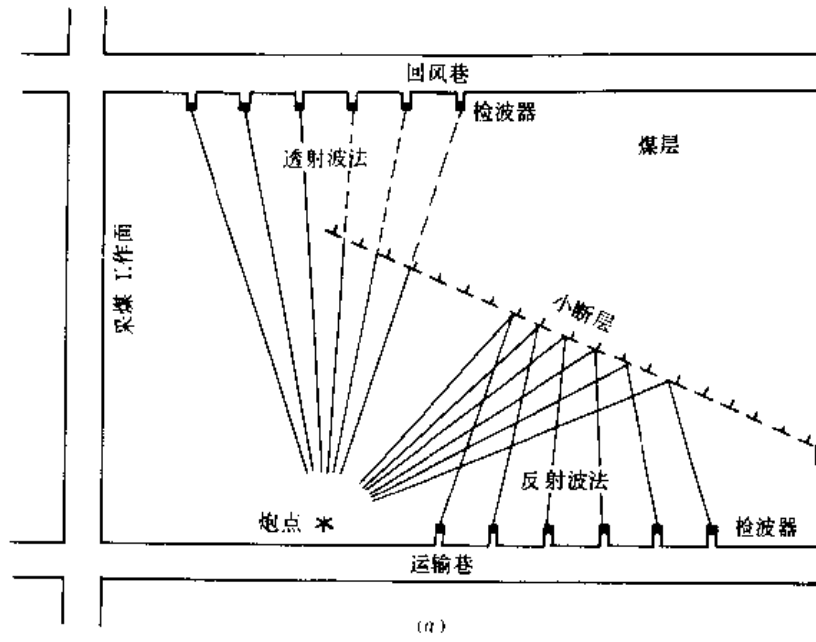


图3 槽波法地震勘探原理 (a) 与典型的透射记录 (b)、反射记录 (c)

$P_d$ —直达P波;  $C_d$ —直达槽波;  $C_r$ —反射槽波

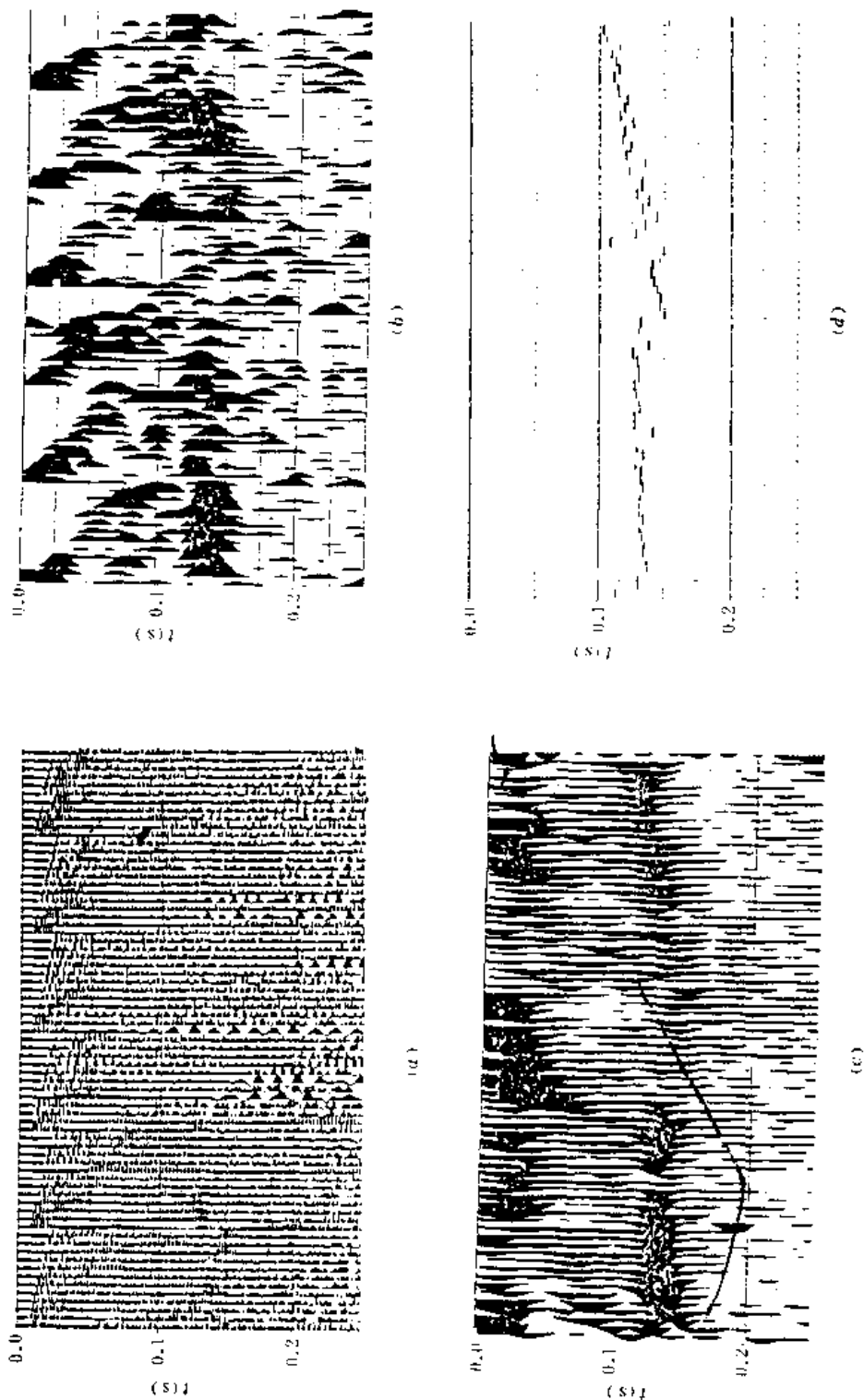


图4 包络叠加  
a—一次覆盖、X分震源记录；b—经带通滤波、时校正后包络计算的结果；  
c—6次叠加剖面；d—经带通滤波、时校正后的剖面  
(据德国 Prakla Seismos 公司, 1980)



整物性典型值的聚类分析法称类中心法。

**定厚解释** 确定不同岩性煤、岩层的分层界面在钻孔中的位置,计算煤、岩层的厚度。同一煤、岩层的分层界面,在不同测井方法的测井曲线上有不同的特征位置。对于厚度较大的岩层,多数测井曲线的半幅点对应于其界面位置,但在视电阻率测井曲线上,高阻岩层界面则位于曲线高幅度的根部,即曲线斜率突然增大的起点。在未经密度转换的记录散射伽马强度的曲线上,岩层界面位于曲线高幅度的  $1/3 \sim 2/5$  处,其确切位置与目的层和围岩的密度差异有关。对于较薄的岩层,其界面在曲线上位置随其厚度而变化,一般均向曲线峰值幅度方向移动,岩层越薄,移动距离越大,且移动距离与测井方法及其技术参数有关。为提高划分薄层的准确性,应尽量选用垂向分辨率高的测井方法或记录测井数据的差分值,突出曲线变化率,准确确定岩层界面位置。借助量板可将薄层的曲线幅度校正到与厚层相当,则可用厚层定厚解释规律提高薄层结构划分准确性。

计算测井曲线的差分值或活度,可确定该曲线沿深度变化率最大的位置,准确确定岩层界面的位置。这对划分夹矸厚度不小于  $0.1\text{m}$  的煤层结构相当有效。活度是指测井曲线沿深度变化程度的一种度量,其极大值出现的位置对应于测井曲线变化率最大处。用有序序列最优分割等统计方法,也可确定岩层界面位置。

**岩性与煤层分析** 对岩层及煤层中各主要成分含量的估算。一般采用概率模型与体积模型两种途径。前者主要采用数理统计方法;后者则根据模型建立的响应方程,采用各种解法求出。

**数理统计方法** 采用线性回归、拟线性回归、多元回归、逐步回归等多种回归分析方法,将已知测井数据整理成回归方程,进而对未知值求解。在煤田测井中,它主要用于估算煤层灰分、发热量、水分等煤质参数。一般认为,煤的灰分含量与测井确定的密度、 $\gamma$ 强度和电阻率等数值之间具有如下相关关系:

$$A_d = a\rho + b$$

$$A_d = cI + d$$

$$\lg(A_d) = m\lg(R) + n$$

式中  $A_d$  为煤层的灰分含量;  $\rho$ 、 $I$ 、 $R$  分别为煤层的密度、 $\gamma$ 强度和电阻率的测井值;  $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 、 $m$ 、 $n$  分别为回归方程系数。利用多元回归和逐步回归分析方法,还可综合多种测井数据,方便地解决非线性相关问题,应用广泛。

**体积模型与响应方程** 根据测井探测特性,把岩层或煤层简化成各占一定体积的若干主要成分的集合体,研究各成分对岩层或煤层宏观物性的影响,并建立

各成分所占体积与测井响应值之间的函数关系。①最简单的体积模型是不含泥质的纯岩石模型,即认为岩石仅由非泥质的固体矿物颗粒组成的岩石骨架和充满岩石孔隙的流体两大成分构成。根据煤田地质特点,还可认为岩石孔隙中的流体是单纯的岩层水。②泥质岩石模型,即认为除岩石骨架、孔隙流体外,泥质也作为一种独立成分。考虑到岩石骨架系由多种矿物成分构成,这种模型又称多矿物模型。其中,对泥质成分中所含的束缚水与孔隙中的自由水分别进行研究称双水模型。③最常用的煤层模型是认为煤层由可燃烧的纯煤、含有一定束缚水的矿物杂质(通称湿灰分)和存在于煤层内的水分等三部分构成。

根据各种模型,可建立不同测井响应值与模型中各成分的关系,即响应方程。密度测井、中子测井、声波测井和  $\gamma$  测井等测井值的响应方程均为线性方程。它们在单矿物泥质岩石模型中具有如下相同的形式:

$$x = V_{ma}x_{ma} + V_{sh}x_{sh} + \phi x_f$$

式中  $x$  为测井响应值;  $x_{ma}$ 、 $x_{sh}$ 、 $x_f$  分别为岩石中骨架、泥质、岩层内流体的测井响应值;  $V_{ma}$ 、 $V_{sh}$ 、 $\phi$  分别为岩石中骨架、泥质和孔隙度的体积含量。

电阻率响应方程是非线性,通常用以阿尔奇(Archie)公式为基础的经验公式表示。含饱和水的纯岩石,其阿尔奇公式为

$$R_t = \frac{aR_w}{\phi^m}$$

式中  $R_t$  为岩石电阻率;  $R_w$  为岩层水电阻率,  $\phi$  为孔隙度;  $a$  和  $m$  为常数,分别称岩性系数和胶结指数。

煤层模型的  $\gamma$ — $\gamma$ 、中子、声波和  $\gamma$  等测井值,与单矿物泥质岩石具有类似的线性响应方程

$$x = V_c x_c + V_a x_a + V_w x_w$$

式中  $x$  为煤层测井响应值;  $x_c$ 、 $x_a$ 、 $x_w$  分别为纯煤、湿灰分和水分的测井响应值,  $V_c$ 、 $V_a$ 、 $V_w$  分别为纯煤、湿灰分和水分的煤层中的体积含量。

电阻率测井以阿尔奇公式为基础建立的经验响应方程为

$$R_t = \frac{R_0}{(V_a + V_w)^m}$$

式中  $R_t$  为煤层电阻率;  $R_0$  为煤层中湿灰分与水分等导电物质的等效电阻率;  $m$  为与纯煤含量有关的函数。

$$\frac{V_a + V_w}{R_0} = \frac{V_a}{R_a} + \frac{V_w}{R_w}$$

$$m = e^{V_c}$$

式中  $R_a$ 、 $R_w$  为煤层中湿灰分、水分的电阻率。

**交会图** 反映不同测井方法在钻孔相同深度上测井值的交会点,供统计分析用的二维图。将两种或两种



以上的测井参数直接构成或经过某种变换、组合后构成二维或三维坐标系,对测井数据统计分析,然后以二维图件的形式将数据分布状态展示在该坐标系中。根据每两种测井方法同一深度的测井值,在坐标系中得出一个交会点,众多交会点就形成交会图。以交会点在坐标系同一位置出现的频率为显示结果的交会图,称频率交会图。以同一位置各交会点的第三维坐标值为显示结果的交会图称Z值图。通过对交会图的分析,可以检查测井成果质量;确定附加校正量;确定岩石中的骨架矿物组合;估计骨架和泥质的测井响应值等。

**数学模型** 求解岩层或煤层模型中各种成分含量的一种数学方法。通常借助物质平衡方程(即各成分含量之和等于1)用线性联立方程、非线性联立方程、各种线性最优化和非线性最优化算法等多种解法。最优化算法中常用惩罚函数法并加入各种约束条件。对于高电阻率煤层,可根据电阻率与密度响应方程,借助物质平衡方程,用迭代算法求解非线性方程,得到煤层中纯煤、湿灰分和水分体积含量。该法称CWA法,已得到广泛应用。

**岩石力学强度分析** 根据测井数据估算岩石的杨氏模量、切变模量、体积模量、泊松比、强度指数、抗压强度、抗剪强度等诸多力学强度参数的方法。最常用的测井参数是岩石密度、纵波速度、横波速度和孔径值。当未采用声波全波列测井时,可用各种经验公式得出所需的横波速度。也可用各种回归分析方法建立测井值与岩石力学参数间的相关关系式。用回归分析时,电阻率是常用测井参数之一。岩石的力学性质,特别是煤层顶、底板岩石的力学性质,是煤矿设计必不可少的资料。

**工作区地质研究** 根据对工作区内各个单孔测井数据的地质解释成果,研究全区的煤层及其结构、有关岩层的岩石力学强度参数、采区地温等在水平方向和垂直方向上的变化规律;确定地质构造展布特征及其性质;圈定火成岩侵入范围以及煤层冲刷带范围等地质问题。其基本方法是在识别物性标志层的基础上,借助测井曲线进行地层对比。

**物性标志层识别** 识别在全勘探区范围内相对稳定、物性特征比较明显的岩层。大多数物性标志层通常都可作地质标志层。物性标志层主要依据各钻孔测井曲线的幅度、宽度、特殊形态及特殊组合的相似性来识别。近年来,已采用相关对比、功率谱分析、序列剪接、有序序列匹配以及相关对比树匹配等数值计算方法,来研究测井曲线形态的相似性。其中,有序序列匹配方法由中国煤田测井界首先推出。它把已知层位的测井曲线与未知层位的测井曲线作为两个有序序列,根据

最佳相似准则,对两个序列中的每个元素进行匹配。匹配过程中,允许与间隙匹配,从而解决了因钻孔内某些地层缺失而造成的对比困难问题。在匹配过程中,还可将已知地质资料作为约束条件参加运算,从而使匹配结果更加符合实际。通过匹配,可根据已知钻孔标志层层位,标识未知钻孔曲线的层位。

**地层对比** 根据识别的标志层,对比各钻孔间的地层,研究孔间地质构造的特征及其展布。

**沉积环境分析** 根据沉积环境控制沉积岩类型、成分、粒度,控制沉积岩物理性质的各种成因标志,利用研究各种测井资料分析沉积环境。它是一种进行沉积环境分析的快速而有效的方法,是岩相古地理研究的新手段之一。其主要分析途径包括研究典型曲线形态,分析岩层产状测井资料 and 解释测井相等。

由于碎屑岩粒度、分选性、泥质含量、垂向沉积序列、砂体的形态和分布等各种沉积环境的成因标志,控制着沉积岩导电性、自然放射性、自然电位等物理性质的差异。因而,可利用测井曲线查明上述成因标志在纵向与横向上的变化,进而鉴定沉积环境。通常,岩石的电阻率随岩石粒度减小而降低,随分选性变坏而增高,随泥质含量的增多而降低;岩石的自然放射性与粒度呈相关关系,随泥质含量的增高而增大;岩石的自然电位往往与粒度和泥质含量有关。这样,根据测井曲线的形态特征、幅度及其变化与变化速率以及次级形态,可区分海进、海退、冲积扇、古河流、三角洲等诸多沉积环境特征(见煤系地球物理测井相)。

岩层产状测井矢量图往往可用以研究沉积岩的层理特征;分析沉积时岩屑的搬运方向即古水流方向;推断砂体延伸方向等。

**解释成果显示** 测井资料地质解释成果,除必要的文字说明外,通常用大量的各种图表来显示。最常用的有测井曲线图、测井地质解释图(或综合解释图)、煤层分析图、孔斜投影图、解释成果表以及各种交会图等。根据区域构造解释,还可作出各种平面等值线图、测井曲线地层对比图、剖面图,等等。图1、图2分别为测井地质解释图和频率交会图。

**煤田测井解释系统** 用以完成煤田测井地质解释的电子计算机及其专用软件的总称。随着微机功能的迅速发展,煤田测井地质解释系统现多采用微机及其相应外部设备,不少国家都开发了各具特点的专用软件。已形成独立、完整的煤田测井解释系统类型包括:美国的LOGSYS系统和CAL-Q-LOG系统,加拿大的COMPU-LOG系统,中国的CLGIS系统等。它们除可对煤田测井数据进行编辑和处理外,还具有识别岩性和分层、分析岩性和煤层、估算岩层岩石力学强度、识

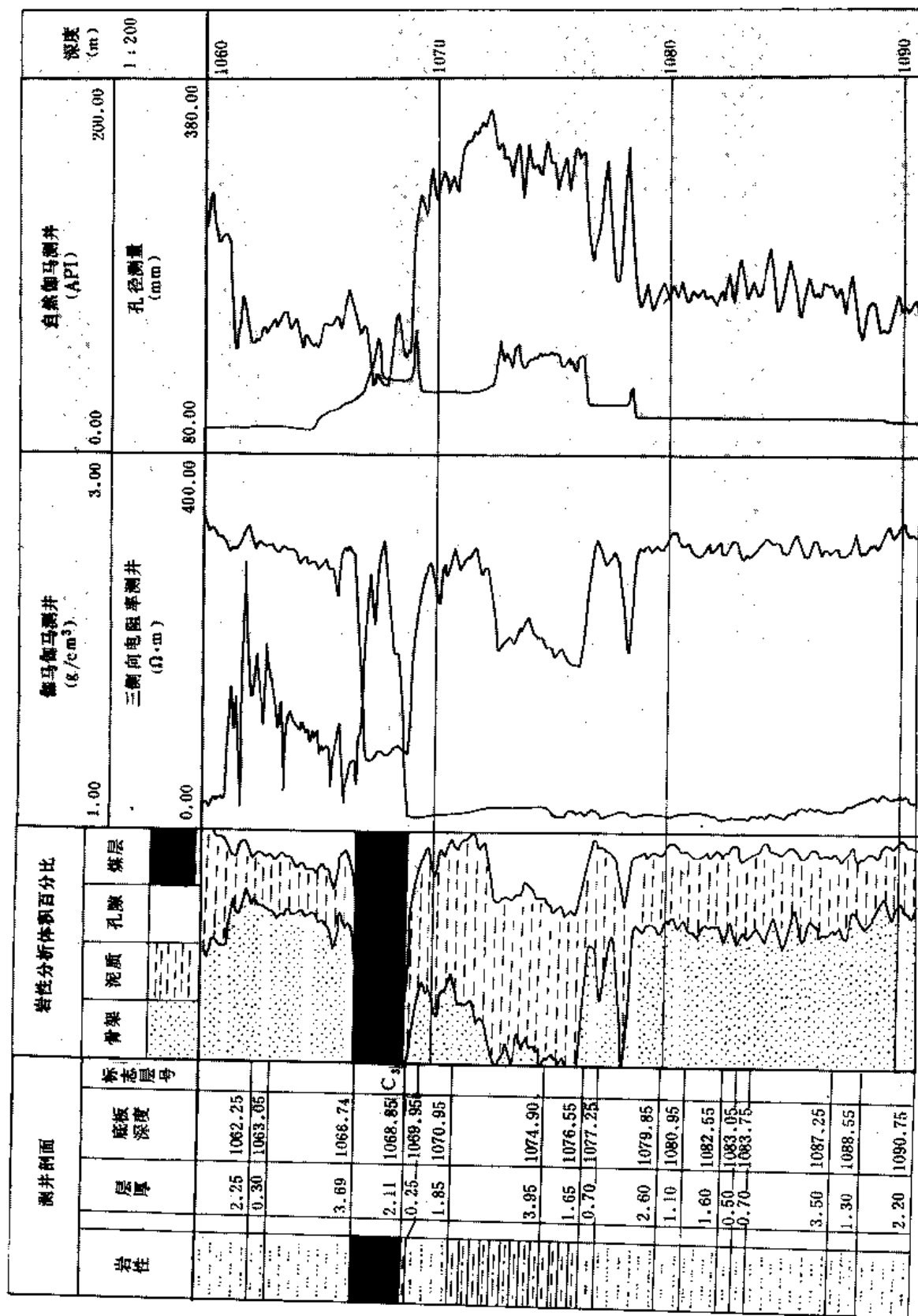


图1 测井地质解释图



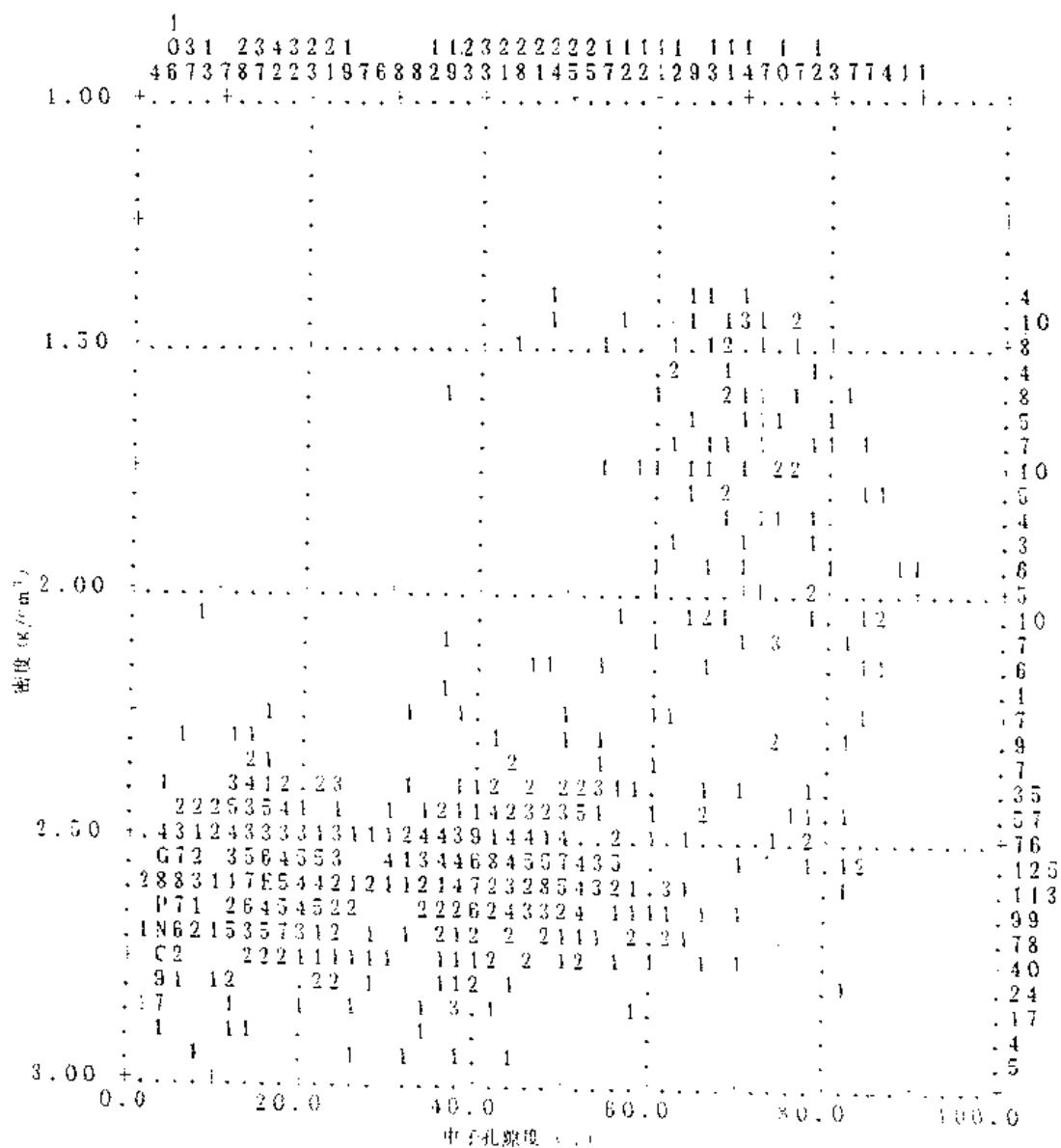


图2 频率交会图

别岩石物性标志层、计算岩层产状测井数据、显示声波全波列测井成果等地质解释功能,并能按一定格式输出相应的成果图表。

(刘家瑾)

chaoyingcailiao qixiaoju

**超硬材料切削具** (superhard material cutter)

用人工合成的具有很高硬度、耐磨性和一定强度的材料制成的切削具。大多数超硬材料都是利用高温、高压技术,一次或多次合成的。目前已合成的超硬材料有几十种,但在钻探中用作切削具的主要

有人造金刚石复合片、人造聚晶金刚石、斯拉乌基奇等。立方氮化硼 CBN 用于地质钻头尚在试验阶段。

由于合成工艺技术及设备性能等方面的原因,目前大多数超硬材料切削具只能在 700℃ 以内的温度环境中制成产品。以其制造的地质、矿山、石油钻头,限于可钻性在 7 级以下的非研磨性或弱研磨性岩层。

**人造金刚石复合片** 用高温、高压技术,将细粒人造金刚石单晶,二次合成为 0.3~0.8mm 厚的人造金刚石聚晶薄片,焊接在硬质合金底衬上,或者用高温、高压技术,将细粒人造金刚石单晶与硬质合金基体直接粘结在一起制成的钻头切削具。复合片多为圆形,也

可用线切割的方法或直接合成所需要的其它几何形状。

**人造聚晶金刚石** 将人造金刚石单晶与金属粘结剂按一定比例混合,在高温、高压下二次合成的金刚石聚晶体钻头切削具。其热稳定性高于人造单晶金刚石。目前,中国生产的聚晶,磨削比在3~5万之间,几何形状有圆柱状和三棱柱状等。

**斯拉乌基奇** 乌克兰超硬材料研究所研制的一种类似人造金刚石聚晶体的超硬材料钻头切削具。其硬度和耐磨性接近于天然金刚石,几何形状有圆柱体和片状两种。

**立方氮化硼** 将六方氮化硼和触媒金属置于合成腔内,在1300~2300℃、500~900MPa的高温高压下,部分六方氮化硼转变为立方氮化硼微晶。也可用静压烧结法获得立方氮化硼晶体。立方氮化硼的晶格与金刚石相似,其硬度和强度接近于金刚石,可作为钻头切削具。立方氮化硼开始氧化的温度超过1300℃,在一定的保护环境下,可经受1900℃以上的高温,但脆性大,导热性比金刚石差,热膨胀系数大。

**其它金刚石复合体超硬材料切削具** 近年来,美国和欧洲共同体的一些国家先后研制出用聚晶金刚石和立方氮化硼为基体材料的复合体切削具已有几十种。有单元的、也有多元异型的,其几何形状、规格和物理机械性能各不相同,现有几十种专利,并不同程度地在地质勘探、矿山坑道钻探、石油钻探中进行试验和使用。

#### 参考书目

武汉地质学院等,《钻探工艺学》,地质出版社,1980。

(李 岳)

chengmei zhiwu

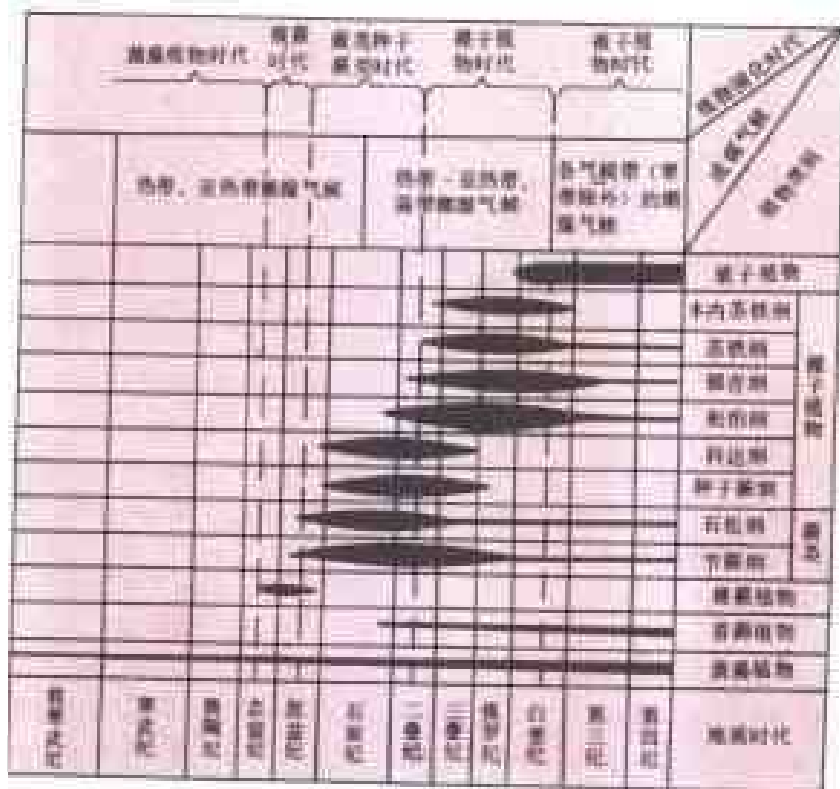
### 成煤植物 (coal-forming plant)

形成煤的原始物质,即煤形成过程中提供有机质的植物,包括高等植物、低等植物。多数煤由高等植物遗体转变而成。高等植物包括苔藓植物、蕨类植物、裸子植物和被子植物,它们一般由根、茎、叶和生殖器官等部分组成,主要生长在陆地上,其粗壮的茎和根为主要成煤质料。低等植物包括菌类和藻类,是单细胞或多细胞构成的丝状体或叶状体,它们没有根、茎、叶等

器官的分化,构造比较简单,多数生活在水中。

**植物组成** 植物主要由碳水化合物、木质素、蛋白质和脂类化合物等四类有机化合物组成。①碳水化合物包括纤维素、半纤维素和果胶等,主要构成植物营养细胞的细胞壁。②木质素,分布在植物茎部的细胞壁中,包围纤维素并填满其间隙,增强茎部的坚固性。③蛋白质,组成植物细胞内的原生质体,是植物最重要的组成物质。④脂类化合物包括脂肪、蜡质、树脂、角质、木栓质及孢粉质等。上述有机组分都参加成煤作用,但它们在泥炭化作用阶段抵抗微生物分解的能力(稳定性)各不相同,最易分解的是蛋白质,其后依次为脂肪、果胶、纤维素、半纤维素、木质素,最稳定的是木栓质、角质、孢粉质、蜡质和树脂。

各类植物和同一植物不同部位的有机组成都不同,因而直接影响它们的分解和转化,影响煤的性质和用途。低等植物主要由蛋白质和碳水化合物组成,脂肪的含量较高(藻类含脂肪可达20%),形成的腐泥煤含氢量也高。高等植物主要由纤维素、半纤维素和木质素组成。一般,由植物根、茎等木质、纤维素形成的腐植煤含氢量较低。含角质层或木栓层、树脂和孢粉质等脂类化合物多的残植煤,含氢量比较高。此外,不同地质时代的成煤植物,由于其有机组成和生存环境不同,因



各聚煤期成煤古植物略图

(据韩德馨、杨起等, 1980)



而所形成的煤的性质亦有差异。中国晚二叠世煤中富含树皮, 新生代煤中常见树脂体, 都与成煤植物有关。

**植物演化** 植物在地质历史时期中逐步由低级向高级演化, 其生存环境由水域扩大到热带海滨, 继而向温带、寒带内陆发展。因而, 地质时代愈新, 成煤环境愈多样 (上页图)。

元古代和早古生代为菌藻类低等植物时代。这些植物生存在浅海、海湾以及潟湖中, 其遗体经成煤作用转变成石煤或腐泥无烟煤。

志留纪末到中泥盆世, 植物从浅海扩展到炎热潮湿的滨海地带, 出现了裸蕨植物。这类植物的组织器官还很原始, 没有真正的叶和根, 高度不超过 1m, 由裸蕨形成的煤始见于泥盆纪, 知名度大的是中国云南禄劝的角质残植煤。

石炭纪、二叠纪时, 在热带、亚热带近海泥炭沼泽发育了大量高达 30 余米的鳞木、芦木、挥木等蕨类、种子蕨植物及科达植物, 为煤的形成和聚积提供了丰富的物质基础。世界上许多著名的近海型煤田, 包括欧洲的顿涅茨煤田、西里西亚煤田、鲁尔煤田; 美国的阿巴拉契亚煤田、伊利诺斯煤田; 中国华北、华南的一系列大煤田, 均是这一时代的产物。植物从石炭纪开始才大规模繁殖于大陆。因而, 具有经济价值的煤田都是在石炭纪及其以后形成的。

中生代时, 地球表面陆地面积大增, 地形分化, 气候条件亦相应发生急剧变化, 促使石炭二叠纪的植物群衰退, 适应能力更强的苏铁、银杏、松柏等裸子植物群繁荣昌盛, 并向大陆内部和温带地区扩展。此时期形成的煤田, 既有近海型又有内陆型。中国新疆、东北等地区的一系列煤田, 都是在内陆温带气候的环境中形成的。

新生代时, 被子植物迅速代替裸子植物, 成为主要成煤植物。此时, 植物向寒带和高原、干旱地区扩展。因此, 中国除有广东茂名等亚热带、温带地区形成的新生代近海型煤田、抚顺等温带地区形成的新生代内陆型煤田外, 在寒带和高原地区还有第四纪泥炭堆积。

**成煤植物的确定** 根据煤中保存的植物化石具有解剖构造, 由木材转变成的木煤或丝炭, 煤经化学浸解分离出的孢子、花粉、真菌、藻类、树脂、角质层, 从煤岩薄片可鉴定的植物残体以及煤核和煤层顶底板中的植物化石等依据, 确定成煤植物。

#### 参考书目

杨起、韩德馨等, 《中国煤田地质学》上册, 煤炭工业出版社, 1979。

韩德馨、杨起等, 《中国煤田地质学》下册, 煤炭工业出版社, 1980。

(梅美棠)

chengmei zuoyong

**成煤作用** (coal-forming process) 植物遗体从堆积到转变成煤的作用。成煤作用分为泥炭化阶段和煤化阶段。泥炭化阶段, 在地表条件下, 堆积在沼泽或湖泊中的植物遗体, 在微生物参与下进行生物化学作用, 不断发生分解、化合, 使高等植物形成泥炭, 低等植物形成腐泥。泥炭化阶段形成泥炭和腐泥的作用, 相应地称为泥炭化作用和腐泥化作用。泥炭化作用主要包括凝胶化作用、丝炭化作用和残植化作用。

植物的木质-纤维组织在覆水缺氧滞水条件下由于液体浸润而膨胀, 逐渐转变为凝胶化物质的作用称凝胶化作用, 其产物是镜质组的前身, 凝胶化作用可延续到成岩作用阶段。

植物的木质-纤维组织在比较干燥的氧化条件下腐朽, 或因森林起火转变为丝炭化物质的作用称丝炭化作用, 其产物是易于保存植物结构的丝质体的前身。

在活水、多氧的泥炭沼泽环境中, 植物的木质-纤维组织被氧化分解殆尽, 稳定组分相对富集的作用称残植化作用, 其产物是残植煤的前身。

以脂肪、碳水化合物和蛋白质为主要成分的菌藻植物及浮游生物遗体在滞水缺氧的还原环境中, 通过厌氧细菌进行分解、化合形成黑灰色絮状胶体物质的作用称腐泥化作用, 其产物为腐泥煤的前身。

煤化阶段又分为煤的成岩作用阶段和煤的变质阶段。煤的成岩作用是指泥炭或腐泥被掩埋后经压实、脱水、固结、腐植酸变为腐植质, 转变成褐煤或腐泥褐煤的作用。煤的变质作用是地壳中褐煤在温度、时间、压力因素作用下转变为烟煤、无烟煤、石墨等的物理化学作用。煤在变质过程中, 内部结构、化学组成、物理性质以及工艺性能呈规律性的变化, 以生成沥青质为特征的沥青化作用是煤变质的重要组成部分 (见煤化作用、煤变质作用)。

(杨 起)

chongjishan he shansanjiaozhou chenjitixi

**冲积扇和扇三角洲沉积体系** (alluvial fan and fan delta depositional systems)

冲积扇和扇三角洲环境内形成的一套有成因联系的沉积相组合。

冲积扇是山前一套呈扇状或半圆锥状、以粗粒碎

屑占优势的堆积物,系山间水流出谷口因坡度骤减,水流不再受河床限制,呈辐射状散开并卸载而形成。沉积物自山前或陡崖前面向远端低地延伸,是陆相沉积体系中粒度最粗、分选最差、最靠近山前的沉积物。由谷口向下游坡度较小处,沉积物粒度逐渐变细,并逐渐过渡到辫状河沉积体系;当远端存在停滞水体时,扇直接进入水体并形成海内或湖内的粗碎屑扇状体,称为扇三角洲沉积体系(图1)。潮湿气候带内发育的扇间低地、特别是扇三角洲充填了的水下平台上,是发育泥炭

沼泽的良好环境。扇三角洲远端有可能找到油气储。冲积扇上瞬时洪水易诱发泥石流造成危害,扇远端地下水溢出带则是寻找水源的有利地区。

**冲积扇的沉积作用** 冲积扇上有河流和泥石流两种沉积作用;扇三角洲上除上述两种沉积作用外,还有盆地沉积作用。

**河流作用** 以扇上辫状河沉积作用为主。①在有植被覆盖和常年降雨的潮湿气候带内,扇上辫状河道深度一般仅数十厘米,常见冲刷现象,辐射状分布的

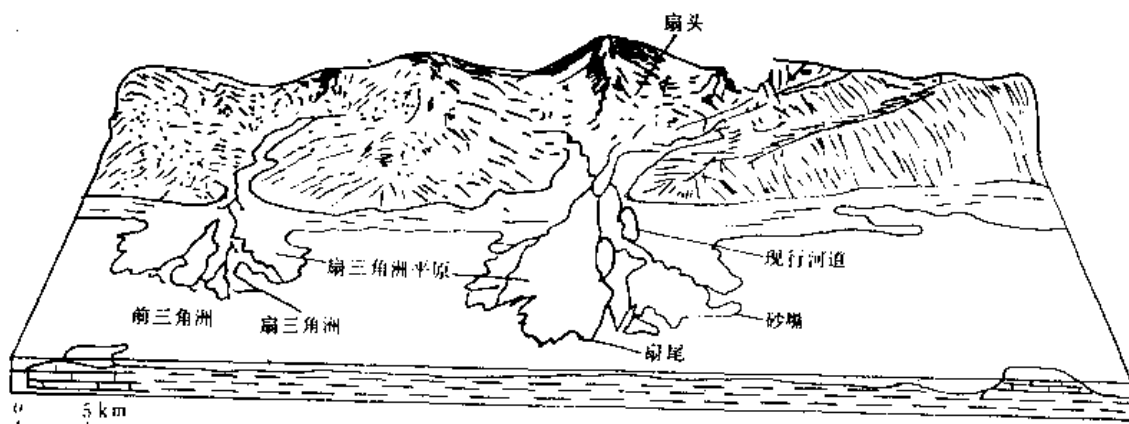


图1 扇三角洲沉积模式  
(据 Handford, 1980; 引自 McGowen, 1979)

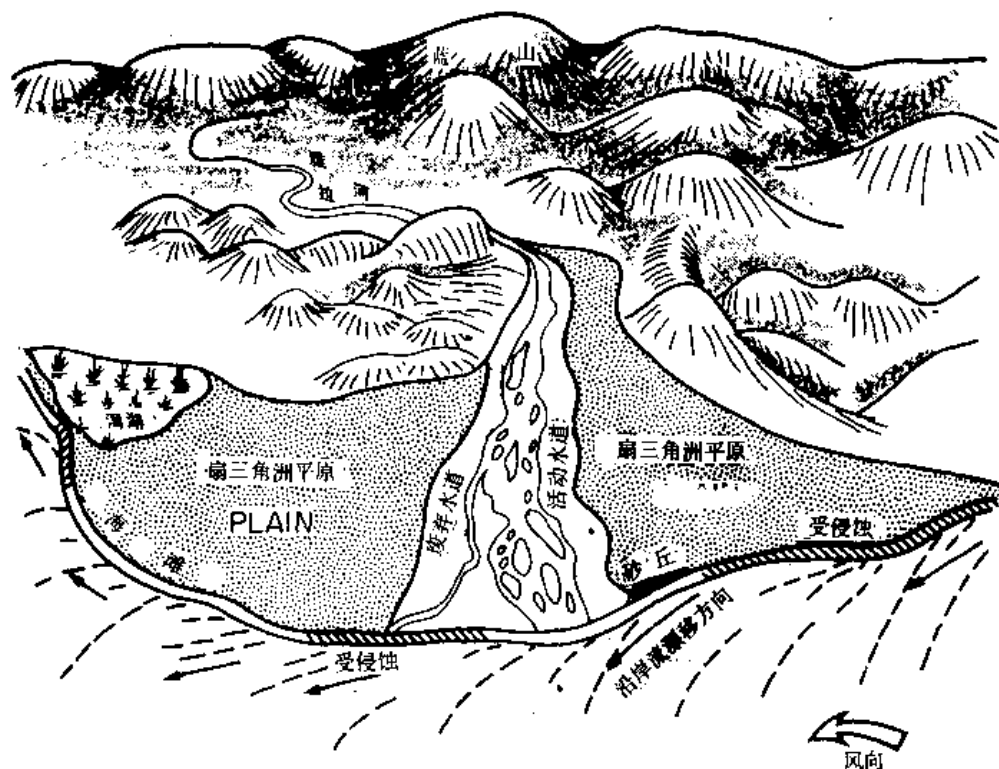


图2 北美牙买加的雅拉扇,注入加勒比海,扇三角洲边缘受海洋作用改造  
(据 Wescott 和 Ethridge, 1980)

水道自扇头至扇尾汇成数个常年水道。洪泛时期,水深一般不超过 30cm,沉积构造以高流态平层为主。②在下旱气候带,母岩为节理发育的石英岩、花岗岩的地区,扇上辫状河沉积物以角砾为主,泥砂物质随水流从角砾间隙渗透流失,称筛状沉积。后期,角砾间可由细小碎屑填隙,分选极差。

**泥石流作用** 泥石流是由粘土和水掺和形成的密度和粘度都较大、受重力作用搬运的流体,具可塑性。在源区坡度陡、植被少的条件下,由短期暴雨产生的瞬息洪水形成。在有丰富的冰川或火山碎屑物质的条件下更常见。泥石流受重力作用呈涌浪式前进,流体厚度可达 1m,流速可达 1~10m/s,由于粘度大,搬运能力很强,可搬运漂砾。泥石流的分选性极差,其粘度取决于粘土和水的比例,一般含水量为 40%~60%。在粘度大的泥石流中,粗碎屑可分布在沉积物的任何部位,呈悬浮状态;而在粘度较低的泥石流中,碎屑可能有一定排列方向。

**盆地作用** 当冲积扇注入停滞水体,会受到盆地作用的改造,特别是扇入海的情况下,受波浪、岸流和

潮汐作用的综合影响,沉积物呈不对称分布(图 2)。

**沉积相** 冲积扇有扇头相、扇中相和扇尾相等三种沉积相(图 3)。

**扇头相** 分布于坡角最大的近山前陡崖处,以泥石流、泥流沉积为主,其次为辫状河沉积,岩石粒级变化大,分选差,缺乏层状构造。

**扇中相** 以辫状河沉积为主,有少量泥石流沉积,砂质沉积物增多,砾石经过初步分选,沉积构造以高流态平层为主,有时有切割充填现象。

**扇尾相** 分布于扇远端、坡度小的地方,以辫状河沉积为主,可夹风成砂。除高流态平层外,还有交错层理或见叠瓦状砾石。从扇头至扇尾,泥石流沉积逐渐减少,水携沉积物逐渐增多,越向扇尾沉积物越细,分选变好,层理类型变得多样化。当源区上隆,扇向盆地进积,冲积扇的垂直层序全表现为向上变粗。

**潮湿扇** 潮湿地区以河流作用占优势的冲积扇。在季节性洪水和冰融化时活动,年沉积厚度 1.5~2.5m,扇上有常年水流,沉积物主要发生在特大洪水期,面积最大者可达 16000km<sup>2</sup>。扇面坡度缓,扇头为

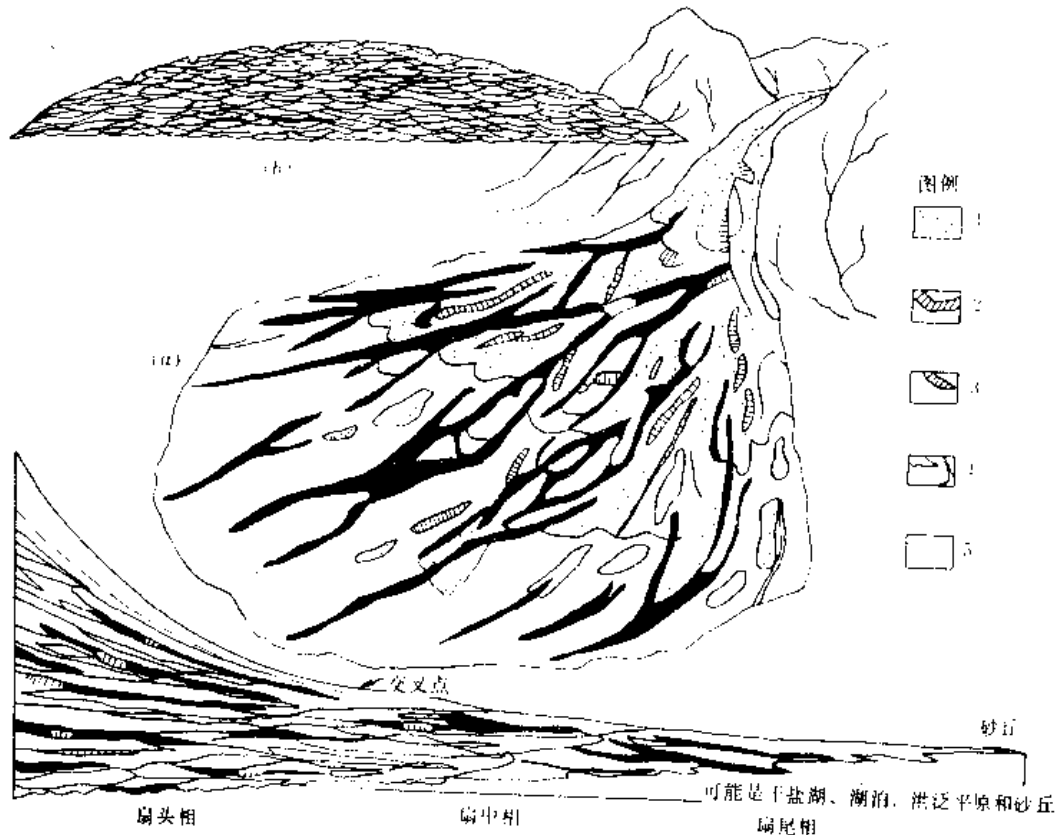


图 3 理想冲积扇沉积相的分布和地貌剖面

a—冲积扇表面的相分带; b—上凸的扇体横剖面; c—上凹的扇体纵剖面;

1—泥石流舌状体; 2—辫状河积; 3—泥石流天然堤沉积; 4—河道沉积; 5—河流泛滥和旧河道沉积

(据 Spearing, 1975)

1~4m/km, 扇尾为 0.3~1.3m/km。沉积速率很大, 局部可达每 2~3 年 15m。

中国辽宁阜新煤盆地的海州组含煤岩系中, 具有典型的潮湿扇沉积。在以辫状河沉积为主的地层中夹有低粘性泥石流沉积和煤层。在泥石流沉积物中表现出上粗层序, 粗碎屑颗粒显示一定的定向排列。煤层上、下沉积物的层面上还有相当大的恐龙足迹。扇砾岩分布于盆缘同沉积断裂带内, 向盆地方向厚度变薄, 煤层则逐渐增厚。中国龙门山前陆盆地白垩系和贺兰山前陆盆地的三叠系均有厚达千米左右的、以砂质沉积物为主的冲积扇沉积, 夹有泥石流沉积, 全为向上变粗的垂向层序, 是非含煤岩系的潮湿扇沉积。这种沉积在造山带的前陆盆地中常见。

**扇三角洲** 大型扇三角洲沿山区或岛弧入海。其陆上部分大小不一, 海底部分往往很大。陆上部分全由辫状河入海进积形成。扇三角洲的远端进积于海或湖中, 其水下部分全为向上变粗的垂向层序, 近端河道化了的部分才出现向上变细的垂向层序。远端细碎屑的水下沉积物中可能找到边缘海的痕迹化石。三角洲平原在洪水期可能很快向海进积, 但当受海水改造时则可能很快后退。低卸载期, 海洋含盐的水密度大, 可能有咸水舌的作用使分流河道沉积物延伸很远。中国东北晚侏罗世一早白垩世拉张成因的煤盆地中, 盆缘断裂带附近常有小型扇三角洲发育, 由冲积扇注入湖盆形成。中国松辽、渤海湾、大港等第三纪含油气沉积盆地, 在盆缘也常发现有入湖的扇三角洲发育, 是找油气的对象。

(李宝芳)

chongji huizhuan zuanjin

### 冲击回转钻进 (percussive-rotary drilling)

冲击钻进和回转钻进相结合的钻进方法。目前多采用在回转钻具上增加一个可以下入钻孔的冲击器来实现。当钻头回转时, 冲击器以一定频率在其上施加脉动的冲击力, 使之在回转和冲击的共同作用下加速破碎岩石。

**优点** ①钻进效率高, 尤其是在硬脆性岩层中钻进更为明显。②岩心管受到振动时, 岩心不易堵塞, 使回次进尺增加。③钻头转速和钻压较回转钻进低, 钻头磨损较慢, 使用寿命延长。④在易斜岩层中钻进可减小孔斜, 提高钻孔质量。⑤钻探成本低。

**设备和工艺要求** ①钻机要设转速很低的档, 有时甚至只有 20~30r/min。②用液动冲击器时, 泵压较回转钻进时高, 需加大泵量, 冲洗液质量要求严。③用风动冲击器时要另配空气压缩机。

**冲击器** 按使用的动力不同, 冲击器可分为液动、风动(气动)和机械式三大类。在岩心钻探中, 液动冲击器应用最广; 风动冲击器多用于无岩心钻进; 机械式冲击器在钻探中很少使用。

**液动冲击器** 又称液动锤, 以具有一定压力的冲洗液作为传递动力的工作介质。按其工作原理可分为正作用、反作用和双作用三种; 按有无配流阀又可分为阀式和无阀式两种。正作用冲击器靠压力液流推动冲锤进行冲击, 再由在冲击行程储存一定能量的弹簧使其复位; 反作用冲击器的工作原理则相反。双作用冲击器的冲击和复位动作均靠压力液流来完成。绝大部分液动冲击器都属于阀式, 只有射流式双作用冲击器为无阀式。反作用冲击器的主弹簧易损坏, 工作可靠性差, 在生产中应用很少。将绳索取心钻具与液动冲击器相结合, 又形成绳索取心式液动冲击器。

**风动冲击器** 又称潜孔锤, 用压缩空气作为传递动力的工作介质。在工作原理上属于双作用冲击器, 也分为阀式和无阀式两种。与液动冲击器比较, 其冲击功大, 碎岩效率高(见潜孔锤钻进)。

**主要技术参数** 包括冲击频率、冲击功、泵压和流量(或风压和风量)。有些液动冲击器的参数可调, 以适应不同的岩层条件和钻头品种的要求。

**性能要求** 结构简单、易损件少、工作可靠、使用寿命长、效率高、参数调整方便且调整范围较大等。通常, 用硬质合金钻头时, 要配用低频、大冲击功的冲击器; 用金刚石钻头时要配用高频、小冲击功的冲击器, 由于其破碎岩石以回转为主、冲击为辅, 有时又称金刚石回转冲击钻进。

**碎岩机理** 在不同性质的岩层中进行冲击回转钻进时, 冲击和回转的作用不同。①对硬脆性岩层, 主要靠冲击碎岩。在冲击载荷作用下, 切削具使岩石产生很高的局部应力, 该应力还未及重新分布就已达到岩石的强度极限, 使岩石碎裂。这种作用的效果, 随着岩石脆性的增大而愈益明显。此时, 回转主要是为了移动切削具的位置, 改变冲击点, 并将两次冲击之间已有裂纹的“岩脊”从岩体上分离下来, 起辅助碎岩作用。此时, 施加钻压的目的不在于使切削具切入岩石, 而是为了克服钻具在冲击时的反弹力, 保证钻头与孔底岩石接触良好。钻压在岩石中产生的预压应力, 对冲击破碎的影响很微弱。②对中硬的、塑性较大的岩层, 则以回转切削为主, 冲击作用只在岩石中造成裂纹, 为回转碎岩创造有利条件。③对塑性大的岩层, 冲击能量大部分被岩石的塑性变形吸收, 碎岩作用甚微, 回转切削碎岩处于主导地位, 此时施加的钻压, 应保证切削具有效地切入岩石。

## 参考书目

王人杰等,《液动冲击回转钻探》,地质出版社,1988。

(郭忠礼)

## chongji zuanjin

**冲击钻进** (percussion drilling) 借助钻具重量,在一定的冲程高度内,周期性地冲击破岩(土)以形成钻孔的钻进方法。它按动力不同,可分为人力冲击钻进和机械冲击钻进;按连接钻头的工具不同,分为钢(丝)绳冲击钻进和钻杆冲击钻进。现代生产中使用的是机械钢绳冲击钻进。这种方法操作和管理简单,使用的设备轻便,工具少,总成本低,但只宜钻凿垂直的无岩心钻孔,包括水井、爆破孔、桩基孔等。

冲击钻进工作过程是,用钢绳悬吊或钻杆连接一字形或十字形钻头,以人力或冲击钻机的冲击机构(通常为曲柄-连杆机构)使其上下周期性运动,在下落过程中钻头势能转变为动能,当钻头接触岩(土)时突然遇阻而停止,产生很大的冲击力,将岩(土)击碎。为形成圆形钻孔,在每次冲击碎岩(土)后,人为地使钻头转动一个角度。为维护孔壁和冷却钻头,钻孔内注入清水或泥浆。当被冲击钻头凿碎的岩粉积聚到一定数量后,提出钻头,下入捞砂筒,将岩粉连同浆液捞出倒掉,再下入冲击钻头,并补充一些清水或泥浆,重复上述工作,使钻孔逐步加深。其钻进效率取决于钻具重量、冲程高度与冲击频率。

同回转钻进相比,冲击钻进的工序繁琐、效率低,又不能采取岩心,很少用于地质勘探钻孔。但在河床及冲积层中钻凿大口径水文钻孔或工程钻孔时,尤其在遇有较大砾、砾石时,冲击钻进往往行之有效。就岩石的固有力学性质而言,硬度越大,在冲击力作用下越容易破碎,因而冲击钻进不失为破碎硬岩的一种较好方法。为充分利用硬岩石不耐冲击的特点,在回转钻具中增设冲击器,就形成了一种新的钻进方法——冲击回转钻进,用于岩心钻探效果良好。

冲击钻进是一种古老的钻进方法。中国在2200多年前的秦代就在四川用人力冲击钻进开凿盐井。至11世纪,中国又出现绳索冲击钻井法,用于钻凿小口径盐井,其工作原理已与现代冲击钻进方法相同。此法逐渐传入西方国家。19世纪初,在美国出现钢结构的冲击钻井装置,装上四连杆机构,并使用了动力机。机械钢绳冲击钻进开始在生产中应用。

(赵贵祥)

## choushui shiyan

**抽水试验** (pumping test) 通过钻孔(井)抽取含水层中的水,观测其抽出水量及主孔与观测点水位(水质)变化过程的一种水文地质试验方法,主要用来测定含水层渗透系数、导水系数、储水系数、给水度、越流系数、降落漏斗大小及扩展速度等水文地质参数;评价含水层的富水性及边界条件;了解断层的导水性;研究各含水层之间、地下水与地表水之间的水力联系,为预计矿井(坑)涌水量及利用与防治地下水提供基础资料。

根据抽水钻孔的数量,可以将抽水试验分为单孔抽水、群孔抽水和孔组抽水。单孔抽水试验指不带观测孔的单个主孔抽水试验。群孔抽水试验指带观测孔的单个主孔抽水试验。孔组抽水试验指带观测孔的多个主孔同时抽水的抽水试验。单孔抽水多用于水文地质条件较简单或普查、详查阶段,精查阶段有时也用来大致了解含水层富水性的变化,寻找富水地段。群孔、孔组抽水多用于详查、精查阶段,特别是水文地质条件较复杂、含水层富水性很不均一的地区。

根据试验段孔径的大小,抽水试验可以分为一般口径抽水和大大口径抽水。一般口径是指试验段孔径小于168mm,但一般大于或等于108mm;大大口径是指试验段孔径不小于168mm,多用于水文地质条件比较复杂的矿区。

根据抽水方法,抽水试验可以分为稳定流抽水和非稳定流抽水。稳定流抽水要求抽水流量和水位均达到相对稳定,用稳定曲线段资料计算水文地质参数,研究水位降深值与流量的关系。非稳定流抽水则在只保持流量(或水位)相对稳定的条件下观测水位(或流量)的变化,用以计算含水层水文地质参数。它可以获得稳定流抽水一般不能求得的储水系数,用来判断含水层的边界条件。但非稳定流抽水不能得到一些水文地质计算所必须的流量与水位降深值的关系曲线。因而抽水试验时常把稳定流抽水同非稳定流抽水结合起来,用稳定流抽水时流量和水位达稳定以前的资料,作非稳定流计算,用相对稳定后的资料作稳定流计算。

正确选择抽水延续时间是保证抽水试验精度的关键。延续时间短,抽水影响的范围小,所测定的不是整个含水层参数,而是钻孔周围甚至只是附近这一层的特性。在岩溶化岩体中抽水,延续时间更应长一些,因为其地下水储存量大,降落曲线坡度较小,用短期资料计算导水系数,其值常偏大。

抽水试验采用的主要设备有离心式水泵、空气压缩机、深井泵及潜水泵等。离心泵适用于水位埋深在



6~7m 以内、水量较大的钻孔,其安装简单,出水均匀。空气压缩机适用于水量较小、孔径较小的钻孔,它不受水中含砂量的影响,但抽水孔水位波动较大,在水位埋深不超过 100m 时使用比较有利。深井泵适用于水量、孔径较大,而水位埋深不太大的钻孔,其安装比较复杂。潜水泵适用于水量较大、孔径大,水位埋深不同的钻孔,特别是水位埋深很大的钻孔,它使用方便,出水均匀,运转时间长,但对水质有一定的要求。

抽水试验前应编制详细的施工与作业设计。抽水试验段的段距根据抽水目的确定,以能分别获得各目的含水层(带)的水位、流量为原则。试验段需维护的孔壁下过滤器维护。抽水孔与观测孔一般采用清水钻进;采用泥浆钻进,应采用有效方法洗孔。抽水试验段应与其上、下部含水层隔离,止水部位应在孔壁比较完整的隔水层(段)内,并应用可靠方法检查止水效果。抽水试验的观测孔根据水文地质条件的复杂程度和抽水试验的目的布置,各个观测孔都具有明确的水文地质研究目的并代表一定区段特性。观测孔布置在抽水形成的人工流场范围内,抽水时其水位降深明显。主孔尽量布置在强富水地段。

抽水试验的步骤一般是洗孔,试验抽水,测静止水位,探测钻孔深度,正式抽水,恢复水位,检查钻孔深度,水文地质物探测井。洗孔可以采用  $\text{CO}_2$ 、压缩空气和活塞洗井方法。

稳定流正式抽水降深次数一般不少于三次,每次降距尽可能大些,降深点在流量与水位降深关系曲线上分布合理。最大降深值的选择,主要取决于含水层厚度或承压水水头值,以及预计开采或疏干的动水位值。水源生产勘探孔正式抽水的最大降深值,应尽可能达到正式生产时水位降低深度。当水量很小,即单位涌水量  $q$  小于  $0.005\text{L}/(\text{s}\cdot\text{m})$  时,可尽机械能力作一次最大降深。

非稳定流抽水一般尽设备能力做一次最大降深。定流量抽水时,流量变化幅度一般不大于 3%;定降深抽水时,水位变化幅度一般不超过 1%。

非稳定流和稳定流抽水开始时和恢复水位最初阶段,流量和水位都要加密观测。

大型孔组抽水在获得试验场天然流场概貌的基础上进行。试验前,应取得地下水位的天然日变化动态资料。

抽水试验的成果主要包括水位与流量历时曲线、水位降深值与流量关系曲线、恢复水位曲线、水质化验成果、钻孔结构与地质柱状以及主要计算图件等。群孔或孔组抽水试验,尚应编制试验场水文地质图。大型孔组抽水试验,还应绘制抽水前后及不同时刻的等水位

线图和抽水不同时刻的等降深或等降幅图。

(高洪烈)

chuliang jibie

**储量级别** (categories of reserves) 统一区分和衡量矿产储量精度或可靠程度的等级标准。划分煤炭储量级别是为国家准确地掌握各级煤炭储量,统一煤炭储量的计算、审批、统计和管理工作的;为煤炭资源勘查部门更加经济合理地做好煤田地质勘探工作;为煤矿生产建设部门提供可靠的资源 and 投资依据。

**储量分级** 根据中国当前工业技术经济条件和对煤矿床的勘探、研究程度,以及煤矿设计、生产部门的需要,中国煤炭储量划分为 A、B、C、D 四级,其中 A 级和 B 级为高级储量。

**A 级储量** 在精查勘探阶段,通过较密的勘探工程控制和详细地质研究所圈定的储量,它是煤矿企业设计和投资的依据。

**B 级储量** 在详、精查勘探阶段,通过系统的勘探工程控制和较详细的地质研究所圈定的储量,或者由 A 级储量块段外推的储量,它配合 A 级储量也是煤矿企业设计和投资的依据。

**C 级储量** 在普查、详查、精查各阶段,通过一定的勘探工程控制和一定的地质研究所圈定的储量,或者由 B 级储量块段外推的储量。它配合 A 级和 B 级储量可作为大、中型矿井确定设计能力的依据;也可作为小型煤矿设计和投资的依据。

**D 级储量** 在找煤、普查、详查阶段,通过地质填图或稀疏勘探工程所控制的储量。它是煤炭工业远景规划的依据;配合 C 级储量也可作为小型煤矿设计的依据。

**远景储量** 找煤报告提交,经储量审批机关批准的储量,为 D 级。供作煤炭远景规划的依据。

**普查储量** 普查报告提交,经储量审批机关批准的储量,为 C+D 级。其中 C 级一般不应少于 20%~30%。

**详查储量** 详查报告提交,经储量审批机关批准的储量,为 B+C+D 级。其中, B+C 级一般不应少于 70%, B 级一般为 20%~30%, 并分布合理。

**精查储量** 精查报告提交,经储量审批机关批准的储量,为 A+B+C 级。其中 A+B 级主要位于浅部、矿井首先开发地区。

**发展过程** 在国民经济发展的不同历史时期,中国煤炭储量分类、分级大体上经历了以下四个阶段。

(1) 学习引进阶段。建国初期,在国民经济恢复时期和第一个五年计划期间,主要是引用苏联的“两类五



级”的分类方案。1954年12月,全国矿产储量委员会引进并转发了1953年1月苏联的“固体矿产储量分类”。这个方案首先将储量分为平衡表内储量和平衡表外储量两类,然后根据对矿床的研究程度将储量分为A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、B、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>五个等级。

(2) 总结开创阶段。1958年以后,在不断总结中国地质勘探经验的基础上,全国矿产储量委员会和有关工业部门对矿产储量分类、分级进行了多次改革。①全国矿产储量委员会于1959年1月,草拟了《矿区地质勘探的基本原则(草案)》;同年9月,正式制定并颁发了中国《矿产储量分类暂行规范(总则)》,其中包括了金属、非金属和煤等三个储量分类规范。首先,根据固体矿产在工业利用及矿山开采方面的可能性,将固体矿产的储量分为平衡表内储量和平衡表外储量两大类。然后,再根据固体矿产的勘探、研究程度和工业建设的需要,将固体矿产储量分为四类(开采储量、设计储量、远景储量、地质储量)、五级(A<sub>1</sub>、A<sub>2</sub>、B、C<sub>1</sub>、C<sub>2</sub>级),并详细规定了各级储量的具体条件,强调了各级储量的作用,增加了地质储量这一级,为中国矿产储量分类、分级奠定了基础。②1961年4月,地质部和煤炭工业部联合颁发的《矿产储量分类规范(暂行)》第二辑煤,基本上与1959年9月的分类法相同。

(3) 变动探索阶段。1965年4月以后,在勘探方法改革的形势下,煤炭工业部制定并颁发了《地质工作若干技术规定》,把煤炭储量分为普查储量、详查储量、精查储量。在此期间,还出现了Ⅰ级、Ⅱ级、Ⅲ级储量;

甲级、乙级、丙级储量等分类法。1975年12月,燃料化学工业部颁发的《煤田地质勘探规范(暂行)》,把煤炭储量统一划分为三类(工业储量、远景储量、预测储量)、四级(A、B、C、D级)。

(4) 重建创新阶段。1972年12月至1977年6月,国家计委地质局、冶金工业部、燃料化学工业部、国家建委建材组联合起草、制定并颁发了《金属矿床地质勘探规范总则(试行)》和《非金属矿床地质勘探规范总则(试行)》,对中国矿产储量分类、分级作了统一划分,根据对矿床的勘探、研究程度和工业建设的需要,将矿产储量级别划分为工业储量(包括A级、B级、C级)、远景储量(D级)和预测储量。1983年,为满足矿产资源预测工作的需要,地质矿产部地矿司和资料局提出了矿产储量分类分级方案,把矿产资源总量划分为探明储量(通过地质勘探所获得的储量,即A、B、C、D级储量之和)和预测资源量(煤田预测时估算的煤炭资源量,包括E、F、G级)。1980年1月,由煤炭工业部颁发试行和1986年9月,经全国矿产储量委员会审核批准、正式颁发施行的《煤炭资源地质勘探规范》,把中国煤炭储量划分为两类:能利用储量(煤层厚度、结构、煤质及水文地质、开采技术条件等均符合当前煤矿开采经济技术指标)、暂不能利用储量(煤层厚度、结构、煤质及水文地质、开采技术条件等不符合当前煤矿开采经济技术指标);四级:A级、B级、C级、D级,其中A级和B级称为高级储量。

中国煤炭储量分类、分级历史情况见下表。

中国煤炭储量分类分级历史情况对照表

1954年12月全国矿产储量委员会制定苏联1953年1月《固体矿产储量分类规范(总则)》	1959年1月全国矿产储量委员会《矿区地质勘探基本原则(草案)》	1959年3月全国矿产储量委员会《矿产储量分类暂行规范(总则)》 1961年4月地质部、煤炭工业部《矿产储量分类规范(暂行)》第二辑煤	1965年4月煤炭工业部《地质工作若干技术规定》	1975年1月至1975年12月燃料化学工业部《煤田地质勘探规范(暂行)》 1986年9月全国矿产储量委员会《煤炭资源地质勘探规范》	1980年1月煤炭工业部《煤炭资源地质勘探规范》(试行)
A <sub>1</sub> 级	矿山设计储量	第一类	开采储量	工业储量	高级储量
A <sub>2</sub> 级		第二类	设计储量	工业储量	B级
B级					
C <sub>1</sub> 级					
C <sub>2</sub> 级		第三类	远景储量	远景储量	C级
	地质储量	第四类	地质储量	预测储量	预测储量

**储量误差** 储量精度的一种度量,指地质勘探阶段探明的煤炭储量与煤矿开采实际煤炭储量之间存在的差异。它可通过探采对比资料和采用一定的公式计算确定。按误差性质和产生原因,储量误差可分为地质误差、技术误差和方法误差。①地质误差。又称类比误差或推断误差,由于以已知勘探工程所获得的资料向未知地段进行地质推断而产生的误差,与勘探区的勘探程度和研究程度直接有关,它对储量精度影响最大。②技术误差。在测定储量计算各种原始数据时,由于技术原因引起的误差。③方法误差。由于储量计算方法选择不当引起的误差。

关于煤炭储量精度和误差的问题,目前国内外尚无统一的衡量标准,在储量规范中亦未明确地列为各级储量的条件,大体上,①A级,±10%;②B级,±20%;③C级,±40%;④D级,±60%~80%。

(许友志)

## chuliang jisuan

**储量计算** (calculation of reserves) 计算具有工业价值煤炭资源的实际埋藏量的工作。储量计算是煤田地质勘探工作一项重要内容。它是根据各勘探阶段所获得的各煤层有关资料和数据,按照一定的计算方法,确定煤炭资源的数量、质量、空间分布、开采技术条件及其研究精度的过程。储量是煤田地质勘探工作最终成果的反映。各勘探阶段煤炭储量计算的结果,为煤炭工业远景规划、矿区总体设计、矿井初步设计,以及近期生产计划提供资源依据。

**原则** 为了使储量计算准确可靠,便于各部门统一利用和满足国民经济发展的需要,储量计算需遵循以下原则。

(1) 储量计算按地下实际埋藏的煤炭储量进行计算,不考虑开采、选矿、加工时的损失。

(2) 储量计算深度与勘探深度一致,对拟建大、中型矿井的井田,计算深度一般不超过1000m;只适于建小型井的井田,则不超过600m;老矿区深部的计算深度,不超过1200m。

(3) 当煤层倾角不大于60°时,在平面投影图上计算储量;当煤层倾角大于60°时,则在立面投影图或立面展开图上计算储量。当煤层倾角不大于15°时,可直接用煤层伪厚和水平投影面积计算储量;而当煤层倾角大于15°时,则必须用煤层真厚度和斜面积计算储量。

(4) 煤类和工业用途不同时,应分别计算其储量。沿煤层露头圈出的风化带,一般不计算储量,但当风化带煤中总腐植酸含量大于20%时,则应估算其储量;

对炼焦用煤,还要圈出氧化带,并单独计算其储量。

(5) 计算各级储量时,所利用各种勘探工程见煤点的成果质量,应当可靠。

(6) 储量计算方法,各项参数的采用以及平均值的计算等,都要根据具体情况合理选择。储量计算结果以万t为单位,不留小数。

**参数** 根据煤炭储量计算公式 $Q=S \cdot M \cdot D$ ,储量计算参数包括煤层面积 $S$ 、煤层厚度 $M$ 和煤的视密度 $D$ 。

**煤层面积** 首先要确定储量计算煤层的各种边界线,圈定储量计算的面积,然后测定储量计算的面积。

(1) 煤层的各种边界线。主要包括井田边界线、能利用储量和暂不能利用储量边界线、内边界线和外边界线、零点边界线、最低可采边界线、各级储量边界线等(见煤层底板等高线图)。

(2) 煤层水平投影面积的测定。主要方法有求积仪测定法、几何图形计算法、方格纸统计法、曲线仪测定法等。

(3) 煤层斜面积的换算。当煤层倾角不大于60°时,换算成斜面积计算储量;当煤层倾角大于60°时,换算成立面面积计算储量;当煤层倾角小于15°时,直接采用水平面积计算储量。

**煤层厚度** 包括各见煤点煤层可采厚度和计算块段煤层平均厚度。

(1) 见煤点煤层可采厚度的确定。①简单结构煤层,其厚度大于等于最低可采厚度者,参与计算储量。②煤层夹矸单层厚度等于或大于煤层最低可采厚度时,被夹矸所分开的各煤分层,要视为独立煤层分别计算储量。③煤层夹矸单层厚度小于煤层最低可采厚度时,煤分层不作独立煤层。当上、下煤分层厚度等于或大于夹矸厚度时,将上、下煤分层厚度加在一起作为煤层储量计算采用厚度。④对于复杂结构煤层,当夹矸的总厚度不超过各煤分层总厚度的1/2时,可将各煤分层的总厚度作为煤层储量计算采用厚度。

(2) 计算块段平均煤层厚度。在煤层厚度变化不大、勘探工程布置比较均匀的条件下,一般采用算术平均厚度;在煤层厚度变化较大、勘探工程布置不均匀的情况下,一般采用加权平均厚度。

(3) 当见煤点的煤层厚度特厚或突然变薄时,应分析其原因,根据具体情况,采用二次平均法等进行适当处理。

**煤的视密度** 曾称容重、体重,指在自然状态下,单位体积(包括裂隙在内)的煤的重量,单位t/m³。它与煤的灰分、煤岩成分和变质程度有关。

**方法** 根据煤田地质条件、勘探方法和勘探工程

布置系统的不同,煤炭储量计算方法分为:算术平均法、地质块段法、等高线法、剖面法、多边形法、三角形法、等值线法、水平切面法、地质统计学法等。

**算术平均法** 把复杂的煤层形态,视为形态简单的、同体积的板状体计算煤炭储量(图1)。储量计算采用全区煤层总面积,乘以各勘探工程见煤点煤层的平均厚度和平均密度。计算公式为

$$Q = S \cdot M \cdot D$$

式中  $Q$  为煤炭储量,万 t;  $S$  为总面积,万  $m^2$ ;  $M$  为煤层平均厚度, m;  $D$  为煤的视密度,  $t/m^3$ 。

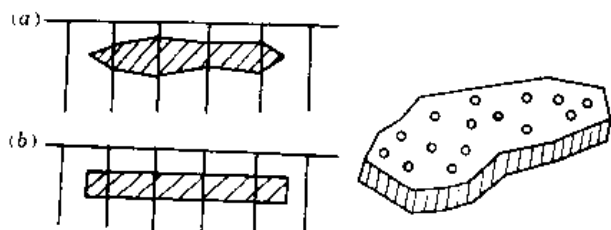


图1 算术平均法计算煤炭储量示意图

此法一般适用于勘探程度较低的找煤和普查阶段,或地质构造简单、煤层厚度变化不大,勘探工程布置均匀的地区。

**地质块段法** 根据不同的地质因素和地质研究程度,将储量计算煤层面积划分为特点显著不同的地质块段,然后分别将每一块段用算术平均法计算煤炭储量。其实质是把煤层划分成一组形状和大小不同的柱状体,将各柱状体煤炭储量相加,即为总储量(图2)。

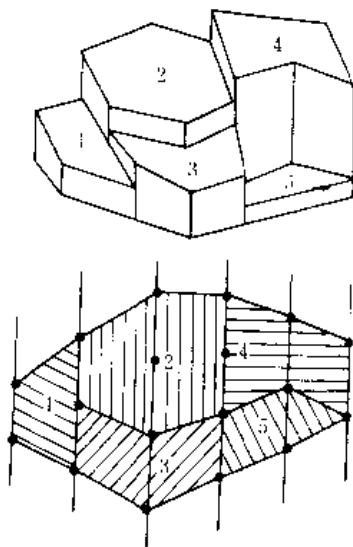


图2 地质块段法计算煤炭储量示意图

计算公式为

$$Q_1 = S_1 \cdot M_1 \cdot D_1$$

$$Q_2 = S_2 \cdot M_2 \cdot D_2$$

$$\vdots$$

$$Q_n = S_n \cdot M_n \cdot D_n$$

$$Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

式中  $Q$  为煤炭总储量,万 t;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  为各块段煤炭储量,万 t;  $S_1, S_2, \dots, S_n$  为各块段煤层面积,万  $m^2$ ;  $M_1, M_2, \dots, M_n$  为各块段煤层平均厚度, m;  $D_1, D_2, \dots, D_n$  为各块段煤层平均视密度,  $t/m^3$ 。

划分地质块段考虑的主要因素包括勘探程度、煤层厚度、煤层产状、煤类、煤质特征、水文地质条件、开拓方式及其它开采技术条件等。

地质块段法计算简单、迅速,适用于煤田地质勘探各个阶段、各种地质条件和不同勘探方法的煤炭储量计算。它按不同地质因素划分块段,所计算的煤炭储量有利于煤矿设计和生产部门的使用,是煤炭储量计算最常用的一种方法。

**等高线法** 又称包曼法,利用煤层底板等高线图,按各相邻两等高线之间条带的面积,分别进行煤炭储量计算(图3)。计算公式为

$$Q = l \cdot \sqrt{b^2 + h^2} \cdot M \cdot D$$

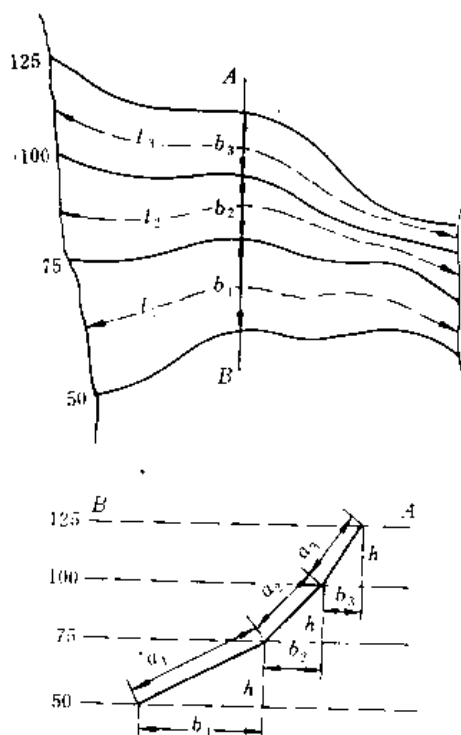


图3 等高线法计算煤炭储量示意图

式中  $l$  为两相邻等高线间中线的长度, m;  $b$  为两相邻

等高线间的水平距离,  $m$ ;  $h$  为两相邻等高线间的高差,  $m$ ;  $M$  为大范围内煤层厚度的算术平均值,  $m$ ;  $D$  为煤的视密度,  $t/m^3$ 。

测量两相邻等高线间中线的长度比较繁杂, 在实际工作中, 两相邻等高线间的水平面积常直接用求积仪测定, 然后按两相邻等高线间的煤层平均倾角, 求出煤层斜面积, 再计算煤炭储量。等高线法最大的优点是, 能真实反映煤层的构造形态, 按不同水平计算煤炭储量, 便于煤矿设计、生产部门的使用。等高线法是煤炭储量计算的基本方法, 此法与地质块段法相结合, 即等高线-地质块段法是煤田地质勘探中最常用的煤炭储量计算方法。

**剖面法** 直接利用勘探线剖面图进行煤炭储量计算的一种方法。根据剖面之间关系的不同, 它又可分为: 平行剖面法和不平行剖面法。

(1) 平行剖面法。根据两相邻剖面间煤层形态和厚度变化的大小, 可分别采用两种办法:

一是在两相邻剖面上煤层截面积相似时, 先计算两相邻剖面上煤层截面积的平均值, 再乘以两相邻剖面之间的水平距离, 求出两剖面间煤层的体积和储量 (图 4)。计算公式为

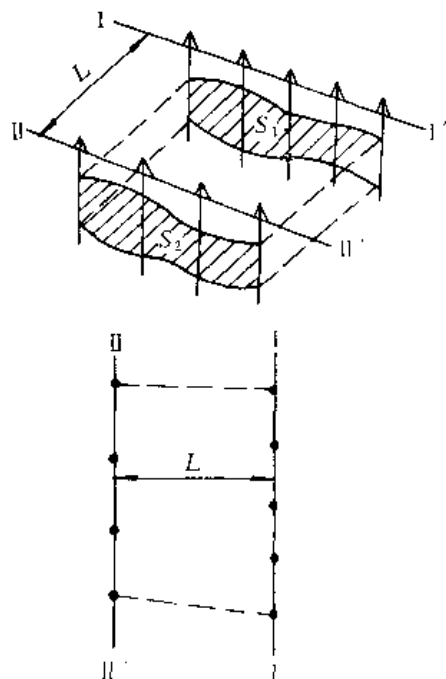


图 4 计算两相邻剖面煤层面积上煤炭储量示意图

$$Q = \frac{S_1 + S_2}{2} \cdot L \cdot D$$

式中  $Q$  为两相邻剖面间的煤炭储量, 万  $t$ ;  $S_1$ 、 $S_2$  为两

相邻剖面上煤层截面积, 万  $m^2$ ;  $L$  为两相邻剖面之间的水平距离,  $m$ 。

二是在两相邻剖面上煤层截面积变化较大时, 先计算单个剖面上煤层截面积, 再乘以与该剖面相邻两剖面之间水平距离的一半, 求出其间煤层体积和煤炭储量 (图 5)。计算公式为

$$Q_2 = S_2 \cdot L_2 \cdot D$$

式中  $S_2$  为第 II 剖面上煤层截面积, 万  $m^2$ ;  $L_2$  为第 II 剖面与相邻的第 I、III 剖面之间水平距离的一半,  $m$ 。

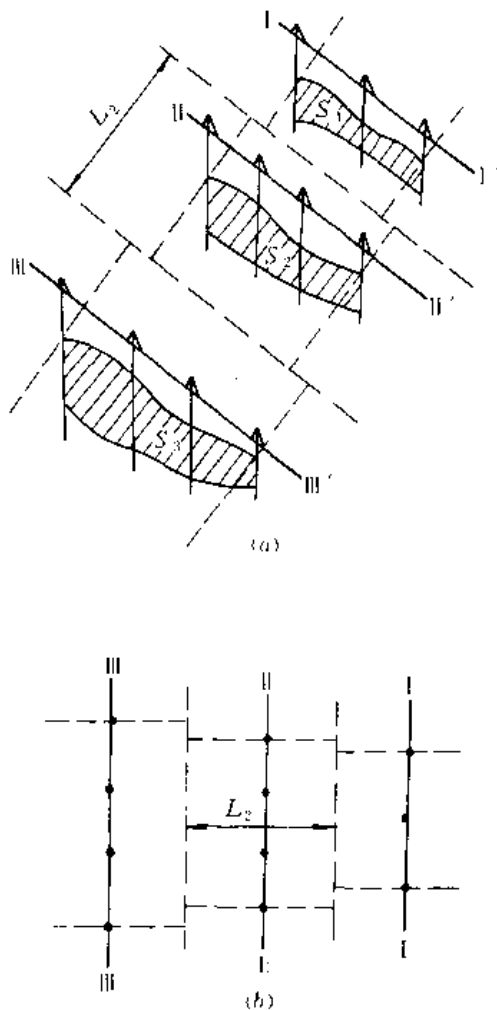


图 5 计算两相邻剖面煤层面积上煤炭储量示意图

(2) 不平行剖面法。由于矿区地质构造和煤层产状变化, 或由于其它原因, 勘探线布置互不平行或呈放射状时所采用的煤炭储量计算方法。它又可分为两种办法:

一是剖面影响距离法。利用互不平行的两条相邻勘探线剖面上的煤层截面积分别具有各自的影响距离, 进行煤炭储量计算的方法。

二是剖面影响面积法。利用互不平行的两条相邻勘探线剖面上的煤层平均厚度分别具有各自的影响面积, 进行煤炭储量计算的方法。

**多边形法** 又称最近地区法, 最古老、最常用的一种储量计算方法, 其实质是, 由每个钻孔与其相邻钻孔连线的垂直平分线所构成的多边形块段内的任一点, 与该工程的距离最近 (图 6)。在多边形块段内, 该钻孔的煤层资料比其它任何钻孔的煤层资料更具有代表性。计算公式为

$$Q_1 = S_1 \cdot M_1 \cdot D$$

$$Q_2 = S_2 \cdot M_2 \cdot D$$

$$\vdots$$

$$Q_n = S_n \cdot M_n \cdot D$$

$$Q_n = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

式中  $Q$  为煤炭总储量, 万 t;  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$  为各多边形块段煤炭储量, kt;  $S_1, S_2, \dots, S_n$  为各多边形块段内煤层

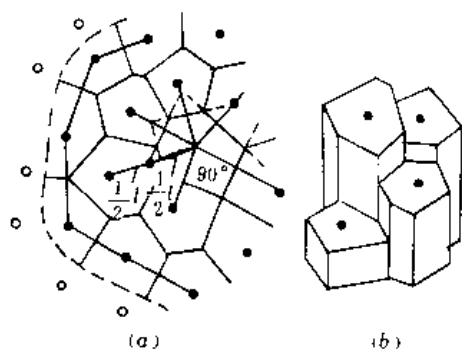


图 6 多边形法计算储量示意图

面积, 万  $m^2$ ;  $M_1, M_2, \dots, M_n$  为各多边形块段内煤层平均厚度, m;  $D$  为煤的视密度,  $t/m^3$ 。

此法适应性强、方法简单、计算迅速、便于上机计算; 缺点是歪曲了煤层的形态, 不利于煤矿设计、生产部门使用。

**三角形法** 在储量计算图上, 把钻孔见煤点按最近距离连成大小不等的三角形 (图 7)。这些三角形就是斜截头三角柱体的底, 三角柱体的棱边就是各钻孔见煤点煤层的垂直厚度。其实质是, 把一组紧密相连的斜截头三角柱体的体积当作煤层的总体积。计算公式为

$$Q = \frac{1}{3} \cdot S \cdot (m_1 + m_2 + m_3) \cdot D$$

式中  $Q$  为斜截头三角柱体的煤炭储量, 万 t;  $S$  为三角形的面积, 万  $m^2$ ;  $m_1, m_2, m_3$  分别为三角形三顶点上各勘探工程见煤点煤层的厚度, m;  $D$  为煤的视密度,  $t/m^3$ 。

此法计算简单、迅速, 便于上机计算, 适用于煤层较稳定, 勘探工程布置较均匀的矿区; 其缺点是由于三角形连接方式不同, 见煤点资料重复使用不均等, 导致误差较大, 且歪曲了煤层形态, 不利于煤矿设计、生产部门使用。

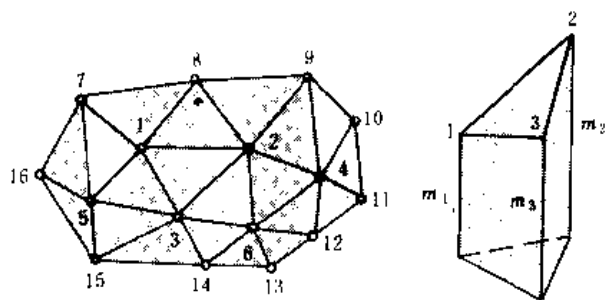


图 7 三角形法计算储量示意图

**等值线法** 将凸透镜状、扁豆状、鸡窝状等形态复杂的煤体, 用一个底面平整、顶面复杂的假想几何形体代替, 再用一组间距相等的水平面与该几何形体相截, 并分别求出每两个相邻水平面间所夹煤层的体积, 然后相加求得煤层总体积, 乘以煤的平均密度, 求得煤层煤炭总储量 (图 8)。计算公式为

$$V = \left[ \frac{S_0}{2} + S_1 + \dots + S_{n-1} + \frac{S_n}{2} \right] \cdot h = \frac{1}{3} S_n h$$

$$Q = V \cdot D$$

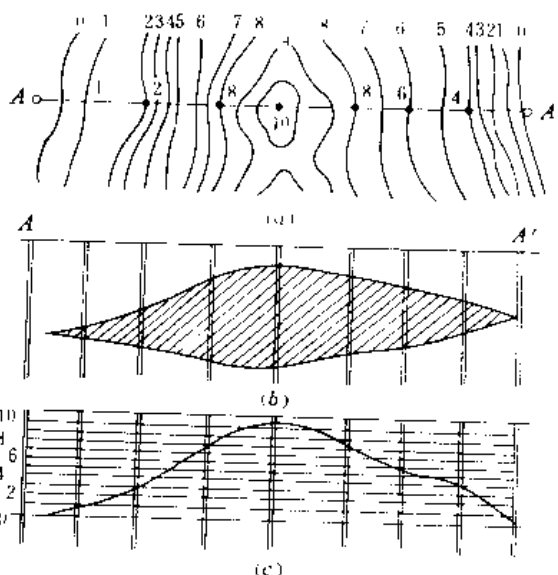


图 8 煤层等值线法计算储量示意图

a—煤层等值线图 (局部); b—A-A' 剖面线制面图;  
c—把复杂形态煤层假想为底面平整、顶面复杂的几何形体

式中  $S_0$  为零点边界线所包围的面积, 万  $m^2$ ;  $S_1, S_2, \dots, S_n$  分别为等厚线 1、2、...、 $n$  所控制的煤层面积, 其中

$S_0$  为等厚线最终所控制锥体的底面积, 万  $m^2$ ;  $h$  为等厚线的间距,  $m$ ;  $h_0$  为等厚线最终所控制锥体的高度,  $m$ , 凸出为正, 凹下为负。

**水平切面法** 又称水平断面法, 以煤层顶板等高线和煤层底板等高线平面图为底图, 以煤矿露天开采的阶段高度  $H$  (一般为 5、10、15、20m) 为间距, 计算 1、2 两相邻水平切面上的煤层面积  $S_1$  和  $S_2$  之间所夹的煤层体积和煤炭储量  $Q_{1-2}$ , 最后累加各阶段的煤炭储量, 即为总储量  $Q$ 。计算公式为

$$Q_{1-2} = \frac{1}{2} (S_1 + S_2) \cdot H \cdot D$$

式中  $Q_{1-2}$  为 1、2 两相邻水平切面间的煤炭储量, 万  $t$ ;  $S_1$ 、 $S_2$  分别为 1、2 两相邻水平切面上的煤层面积, 万  $m^2$ ;  $H$  为两相邻水平切面的间距,  $m$ ;  $D$  为煤的视密度,  $t/m^3$ 。

此法适用于可供露天开采的巨厚中斜煤层的储量计算, 其优点是按露天开采阶段高度分别计算和统计储量, 便于露天矿设计、生产部门使用。

**地质统计学法** 又称克立格法, 用于矿床储量计算的一种新的数学理论和方法。它是由南非矿山地质工程师 D. G. 克立格 (D. G. Krige) 首先提出, 后来经法国数学地质学家 G. 马特隆 (G. Matheron) 教授完善和发展的一门数学地质重要分支。地质统计学把地质变量的两重性 (结构性和随机性) 归纳为区域化变量, 它是地质统计学的理论基础。变差函数及其图形是地质统计学的基本工具。地质统计学法计算煤炭储量的步骤:

(1) 求实验半变差函数估计值。计算公式为

$$\gamma^*(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i+h)]^2$$

式中  $\gamma^*(h)$  为滞后距为  $h$  的实验半变差函数;  $N(h)$  为滞后距为  $h$  的统计数据对数;  $Z(X_i)$ 、 $Z(X_i+h)$  分别为区域化变量在  $X_i$ 、 $X_i+h$  点的实验值。

(2) 实验半变差函数的拟合。根据实验变差函数的特征, 选用球状模型进行拟合, 公式为

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C \left[ 1.5 \frac{h}{a} - 0.5 \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right] & 0 < h \leq a \\ C_0 + C & h > a \\ 0 & h = 0 \end{cases}$$

式中  $C_0$  为块金常数;  $C$  为基台值;  $a$  为变程。

(3) 求待估域的估计值。根据待估块段内外若干个钻孔信息和变差函数的特有性质 (同时考虑变量的相关性和随机性), 对待估块段的未知值作最优 (估计方差最小)、无偏 (估计值的均值与观测值的均值相同) 估计, 公式为

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(X_i)$$

式中  $Z^*$  为待估域内煤层厚度估计值;  $Z(X_i)$  为钻孔见煤点  $X_i$  煤层厚度观测值;  $\lambda_i$  为权系数。在最优、无偏的限制条件下, 可以导出  $\lambda_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 的克立格方程组:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n \lambda_j \gamma(X_i, X_j) + \mu = \bar{\gamma}(X_i, V) \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

式中  $\bar{\gamma}(X_i, X_j)$  为钻孔见煤点  $X_i$  和  $X_j$  之间的变差函数值;  $\gamma(X_i, V)$  为钻孔见煤点  $X_i$  与待估块段  $V$  之间的平均变差函数值;  $\mu$  为拉格朗日乘子。克立格估计方差表达式为

$$\sigma_i^2 = \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma(X_i, V) - \bar{\gamma}(V, V) + \mu$$

式中  $\bar{\gamma}(V, V)$  为待估块段  $V$  内部的平均变差函数值。

(4) 克立格法煤炭储量计算公式

$$Q_i = S_v \cdot Z_i^* \cdot D$$

式中  $Q_i$  为待估域  $V$  的煤炭储量, 万  $t$ ;  $S_v$  为待估域  $V$  的面积, 万  $m^2$ ;  $Z_i^*$  为待估域  $V$  的煤层厚度克立格估计值;  $D$  为煤的视密度。

地质统计学法计算煤炭储量, 实现了储量计算的计算机化和自动化, 计算迅速、准确, 精度高。它不仅考虑到煤层变化的随机性, 同时也考虑到变化的相关性, 还能给出估计精度, 不但可以进行储量的整体估计, 更重要的是可以进行局部估计。地质统计学法计算矿产储量是当前国内、外使用最广泛的一种新方法。

(许友志)

chuliang jisuantu

**储量计算图** (reserves estimation map)

反映储量计算各种原始数据、各级储量空间分布和计算结果的综合性图件。在煤田地质勘探和煤矿生产建设各阶段, 储量计算图是最重要的综合性图件之一, 它集中反映了勘探程度和地质研究程度, 反映了煤炭资源的数量、质量及其空间分布情况, 是煤田地质勘探最终成果的反映。在煤田地质勘探阶段, 储量计算图是编制勘探设计, 部署和施工勘探工程以及提交地质报告的依据; 在煤矿生产建设阶段, 储量计算图及其成果主要作为确定井型大小、服务年限、井筒位置、开拓方案、水平运输大巷、采掘计划、采区及工作面布置, 以及“三量”管理的重要依据。

**底图** 根据煤矿床地质条件的特点、勘探方法和

储量计算方法不同,煤炭储量计算图的底图分为平面投影图、立面投影图、断面图三类。

**平面投影图** 当煤层倾角小于 $60^\circ$ 时,在平面投影图上,即以煤层底板等高线图作为底图,计算煤炭储量。

**立面投影图** 当煤层倾角大于等于 $60^\circ$ ,且煤层沿走向、倾向变化不大时,在立面投影图上,即以煤层立面投影图作为底图,计算煤炭储量;若煤层沿走向或倾向变化较大时,则在煤层立面展开图上计算煤炭储量。

**断面图** 适于露天开采的矿区,煤层厚度较大,当其产状平缓时,利用剖面图作为底图计算煤炭储量;若其产状倾斜时,则用水平切面图作为底图计算煤炭储量。

**内容与要求** 储量计算图除保留原底图上已有的资料外,还有以下四个方面的特定内容与要求:

(1) 勘探工程见煤点的煤层、煤质资料。包括:穿过该煤层的全部勘探工程的编号、见煤点质量综合评定等级(甲、乙、丙、废4级)、见煤点厚度、底板标高等。同时,需附煤层结构小柱状和煤质主要指标小表。小柱状的比例尺视煤层厚度、结构复杂程度而定,一般为 $1:50\sim 1:200$ ;煤质主要指标小表,炼焦用煤标注 $A_d$ 、 $V_{ad}$ 、 $Y$ 、 $S_{t,d}$ ;非炼焦用煤标注 $A_c$ 、 $Q_{b,d}$ 、 $S_{t,d}$ ,并注明煤质牌号。若图面拥挤,煤层结构小柱状和煤质小表可按一定顺序放在储量计算图的下方。

(2) 各种边界线。①井田边界线。根据自然因素(河流、铁路、地面建筑等)、地质因素(断层、褶曲轴、煤层露头线、冲刷尖灭线等)和人为因素(勘探线、开

采水平线、勘探深度边界线等),确定的储量计算的边界线。②储量级别边界线。由勘探工程圈定,或由相应控制程度的勘探线、煤层底板等高线、主要构造线和开采水平所圈定,或由高级储量外推圈定的A、B、C、D级储量边界线。③能利用储量与暂不能利用储量边界线。④内边界线与外边界线。内边界线指煤层厚度、煤质等指标均符合工业要求的最边缘钻孔的连线;外边界线指内边界线以外的所有边界线,包括最低可采边界线和零点边界线。⑤零点边界线。煤层厚度为零的各点的连线。⑥最低可采边界线。煤层厚度、煤质均符合最低可采标准的各点的连线。

(3) 动力用煤标出风化带界线;炼焦用煤标出氧化带界线以及小窑采空区界线、火成岩体分布界线、岩溶陷落柱范围界线等。

(4) 根据不同的勘探类型,不同的勘探网密度和相应的勘探程度,圈定不同级别、不同块段的煤炭储量。一般先圈定A级、再圈定B级,最后圈定或外推C级。在储量图上应按规定着色:A级——红色,B级——蓝色,C级——黄色,D级——绿色。并按规定的图例注明块段的编号、级别、面积、厚度、倾角、储量等数据。

(许友志)

chuízhí dìzhèn pǒumianfǎ kǎntān

**垂直地震剖面法勘探** (vertical seismic profiles survey, VSP) 又称垂直地震测线法,地面或钻孔中设置震源激发地震波,在探测钻孔不同深度上逐段固定检波器,沿垂直方向观测地震波场,用以

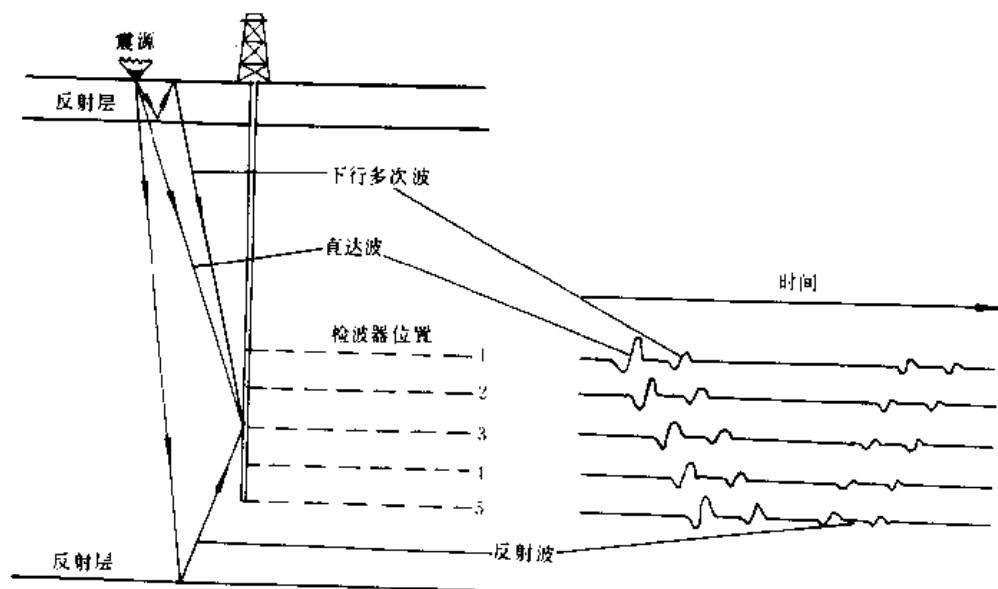


图1 垂直地震剖面法勘探原理图

探查钻孔孔壁及孔底地质情况的一种钻孔地震勘探方法。它是地震速度测井的发展,是地面地震勘探方法的补充。其特点是,检波器直接置于介质内部,甚至在目的层附近,同时记录从下方界面反射上来的上行波(包括一次反射波与上行多次波)和从震源激发出的直达波及下行多次波等下行波。它可避免地表各种干扰及吸收衰减,获得高信噪比、高分辨率、高保真的信息,适用于解决精细的地质问题(图1)。

**沿革** 垂直地震剖面法勘探于20世纪50年代始于欧美,70年代却在苏联发展起来。E. H. 加尔彼林领导研制垂直地震剖面法勘探观测的专门设备;试验了成套的工作方法;系统阐明相应的解释理论,为垂直地震剖面法勘探的发展奠定了基础。传入欧美后,在数

据采集数字化及计算机处理方面进一步发展与完善,并获得应用。80年代初,中国开展垂直地震剖面法勘探的试验研究,现已在石油与煤田地质勘探中发挥着日益重要的作用。

**数据采集** 垂直地震剖面法勘探的观测系统随目的不同而异,孔内检波器与震源布置也随之而变化。①零孔源距观测系统。其震源靠近孔口,是最简单的观测系统,数据处理解释比较容易。②非零孔源距观测系统。目的是减少地滚波(沿地表或近地表传播的表面波。其速度、频率低,振幅大,使反射波模糊)干扰,扩大钻孔周围勘探范围,接收转换波,便于进行某些特殊的研究。③变孔源距观测系统。是一种震源沿通过钻孔的测线逐渐移动的观测系统,目的是利用透射波进

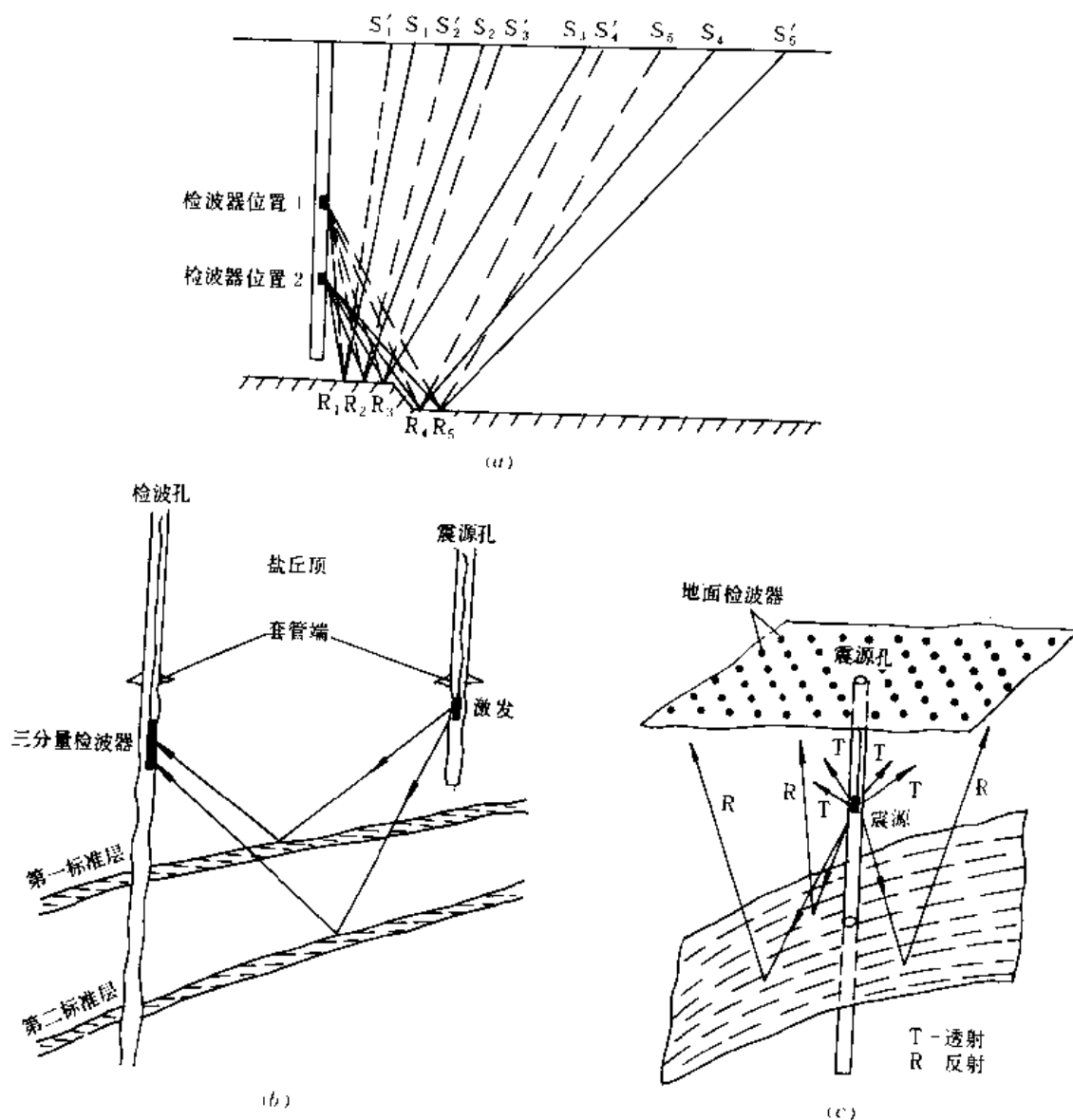


图2 垂直地震剖面法勘探部分观测系统  
a—变孔源距观测系统; b—孔间观测系统; c—三维观测系统



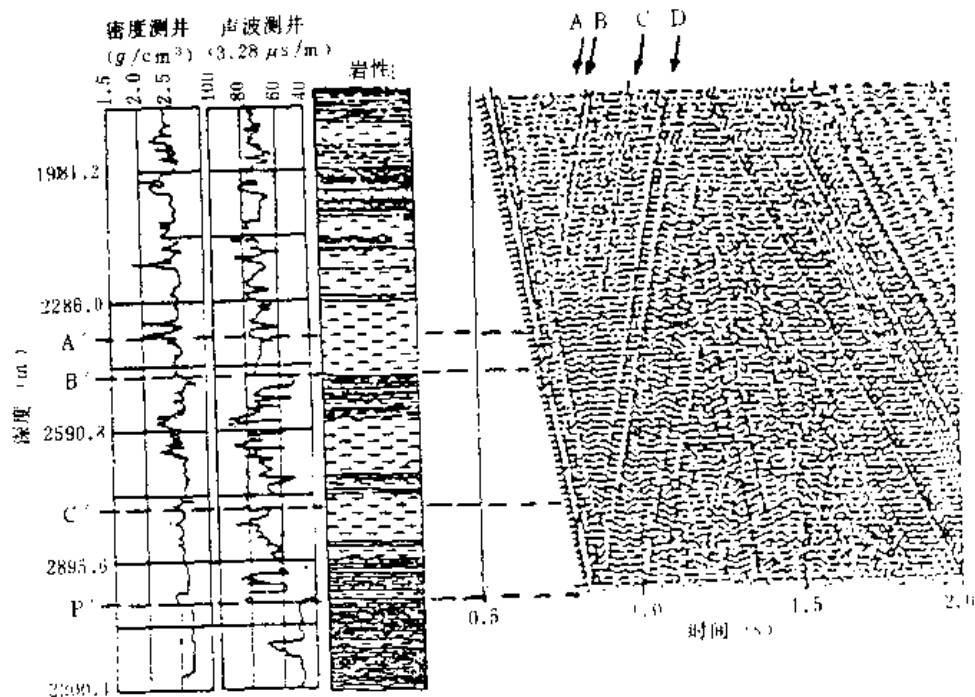


图3 用垂直地震剖面法勘探记录识别和标定反射层

行勘探,更好地实现共深度点叠加。④斜孔观测系统,多用于海洋环境,可以扩大对钻孔附近界面的探测范围,可对钻孔周围或钻孔之间复杂构造的细节变化作出精度很高的解释。此外,还有三维观测系统、孔间观测系统及多次覆盖观测系统等(图2)。

**震源** 垂直地震剖面法勘探所用震源种类与一般地震勘探的相同,它们通常置于地表、浅钻孔内或目的钻孔附近的其它钻孔中。这种方法要求震源激发的能量适中,震源子波频谱宽,在多次激发时波形及能量具有高度的一致性和重现性,以可控震源较为理想。

**检波器** 垂直地震剖面法勘探对检波器有特殊要求。为适应钻孔内条件,减少干扰,保证与孔壁耦合良好,并能观测波的三个分量,要求下入钻孔的检波器具有直径小,长度短,重量轻,两端呈流线形,装有可伸张的椎靠臂、多方位检波器单元和方位测量装置,接头可靠,能耐高温、高压等特点。其地面记录仪与普通高分辨率地震勘探的记录仪类似,但道数可减少。

**数据处理** 垂直地震剖面法勘探的数据处理与解释最适于借助交互工作站进行。处理流程随观测系统、记录条件、激发因素、处理目的及地质任务而定,无统一的模式。处理技术的基本原理与地面地震勘探的相似。分离上行和下行波场及反褶积是垂直地震剖面法勘探数据处理的两个基本内容。其数据处理主要利用

上行波,但在原始资料中上行波较弱,多因被较强的下行波所掩盖而模糊不清。通常,用二维滤波等方法分离出上行波,用反褶积方法消去多次波,并调整期望输出的波形,使其记录与地面地震剖面相匹配。

垂直地震剖面法勘探常规处理成果有各种波的频谱分析图、上行波剖面图、下行波剖面图、走廊切除剖面、垂直地震剖面道与波阻抗曲线的桥式对比图、垂直地震剖面道与水平地震剖面的桥式对比图等。①从下行波剖面图,可提取出理想的震源子波和确定初至波的旅行时,精确地计算时—深关系。②根据上行波剖面,可精确地研究钻孔旁小断层、不整合接触关系、岩层产状、层速度及各向异性等构造与岩性细节,预测钻进前方目的层的深度及岩性。综合对比上述各种成果,可以得到常规地震剖面难以获得的或更精确的频谱、振幅、阻抗曲线、衰减、传输函数等信息。这些与岩性相关的动力学信息,能用以识别多次波及了解其传播过程;正确对比地震波反射的地质层位(图3);为地面地震勘探资料的处理提供可靠参数,提高地面地震剖面的质量与分辨率,完善地震勘探资料的地质解释。垂直地震剖面法勘探在地质勘探和开发勘探中具有重要作用,是地面地震剖面、测井和钻探的桥梁和纽带。煤田地质勘探的钻孔浅、数量多,对开展垂直地震剖面法勘探测量甚为有利。

**发展趋势** 垂直地震剖面法勘探发展较快,但其



野外数据采集比地面地震勘探复杂,效率低,成本高,探测范围有限,需进一步完善。其发展趋势是,①观测仪器的多道化。发展孔内检波器串、横波震源及孔内震源。②采用全方位多波测量。地面布置面积排列;孔内布置垂直排列;三分量检波器观测,震源既可在地面激

发(倒转时距曲线法),也可在钻孔内激发(反向 VSP 法)。其中最引人注目的发展是以钻头作震源的随钻垂直地震剖面法勘探。③进一步完善其理论,扩大其应用领域。

(勾精为 刘天放)

## D

## Datong Meitian

**大同煤田** (Datong Coalfield) 中国华北聚煤区北部的多纪煤田。它位于山西省北部,跨大同、怀仁、山阴、左云、右玉等五市县,平面呈椭圆形,面积1828km<sup>2</sup>,主要产优质动力煤,是中国目前最大的煤炭生产企业大同矿务局所在地(下页图)。

**地质构造** 大同煤田为一轴向北东的向斜构造盆地,部分地表被第三系和第四系覆盖,向斜轴部为中侏罗世云岗组(J<sub>2y</sub>),翼部地层有早侏罗世大同组(J<sub>1t</sub>),晚二叠世上石盒子组(P<sub>2s</sub>),早二叠世下石盒子组(P<sub>2s</sub>)、山西组(P<sub>1</sub>),晚石炭世太原组(C<sub>3</sub>)、本溪组(C<sub>2</sub>)及奥陶系、寒武系等。向斜西北翼平缓,倾角小于10°,东南翼稍陡,一般倾角在20°左右,近边部受向南倾斜的逆断层影响岩层直立、倒转。向斜内有次级小型宽缓褶皱,中、小型断裂不甚发育。在东南部鹅毛口、魏家地一带,有小型燕山期煌斑岩岩脉侵入石炭系、二叠系中。

**煤系** 大同煤田中包含两套煤系。①石炭—二叠纪煤系,包括上石炭统下部本溪组(C<sub>2</sub>)、上石炭统上部太原组(C<sub>3</sub>)及下二叠统山西组(P<sub>1</sub>)。②早侏罗世煤系,即下侏罗统大同组(J<sub>1</sub>)。本溪组不含可采煤层。太原组由陆相及滨海相砂岩、泥岩夹煤层及高岭岩层组成,组厚36~95m,含可采及局部可采煤层10层,煤层总厚在20m以上。山西组由陆相砂岩夹煤及泥岩层组成,组厚45~60m,含1层可采煤层,厚0~3.8m。大同组由陆相砂岩夹泥岩及煤层组成,组厚0~264m(一般220m),含可采煤层14~21层,可采煤层总厚度18.7~24m。

**资源** 大同煤田煤炭资源量约42Gt,煤炭探明储量达35Gt。其中,早侏罗世煤炭探明储量约7Gt,煤种为弱粘煤,灰分、硫分含量低,系中国著名的优质动力用煤;石炭—二叠纪煤炭探明储量约28Gt,在煤田深部尚有近7Gt的预测资源量,煤种为气煤和气肥煤,中—高灰分、低—高硫分,为动力用煤。石炭—二叠纪煤系底部,还有铝土矿及褐铁矿层,其成分与质量变化大,

仅局部达到可采品位。石炭—二叠纪煤系中所夹数层高岭岩(俗称黑砂石),有良好开发前景。

**开采地质条件** 大同煤田早侏罗世煤层埋藏浅、倾角平缓、断层少、煤层大多属中厚及厚煤层,地下开采条件较好,但也存在下述问题。

(1)煤层顶板一般为厚层状砂岩,抗压、抗拉强度大,不易冒落,当采空区顶板来压时,坚硬顶板大面积突然冒落会造成严重灾害。

(2)煤田地下水及地表水缺乏,严重影响矿区供水;矿井水文地质条件简单,而大量古窑积水却对开采带来很大威胁。

(3)矿井瓦斯在南部含量虽低,但北部含量高,忻州窑矿以北均属高瓦斯矿井,有瓦斯突出危险。

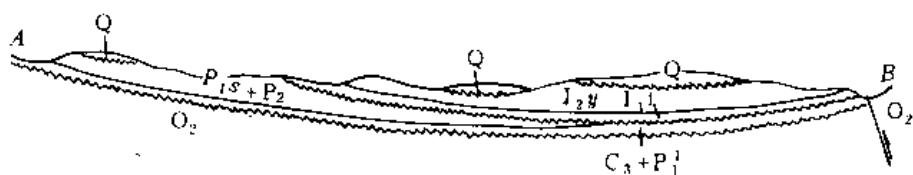
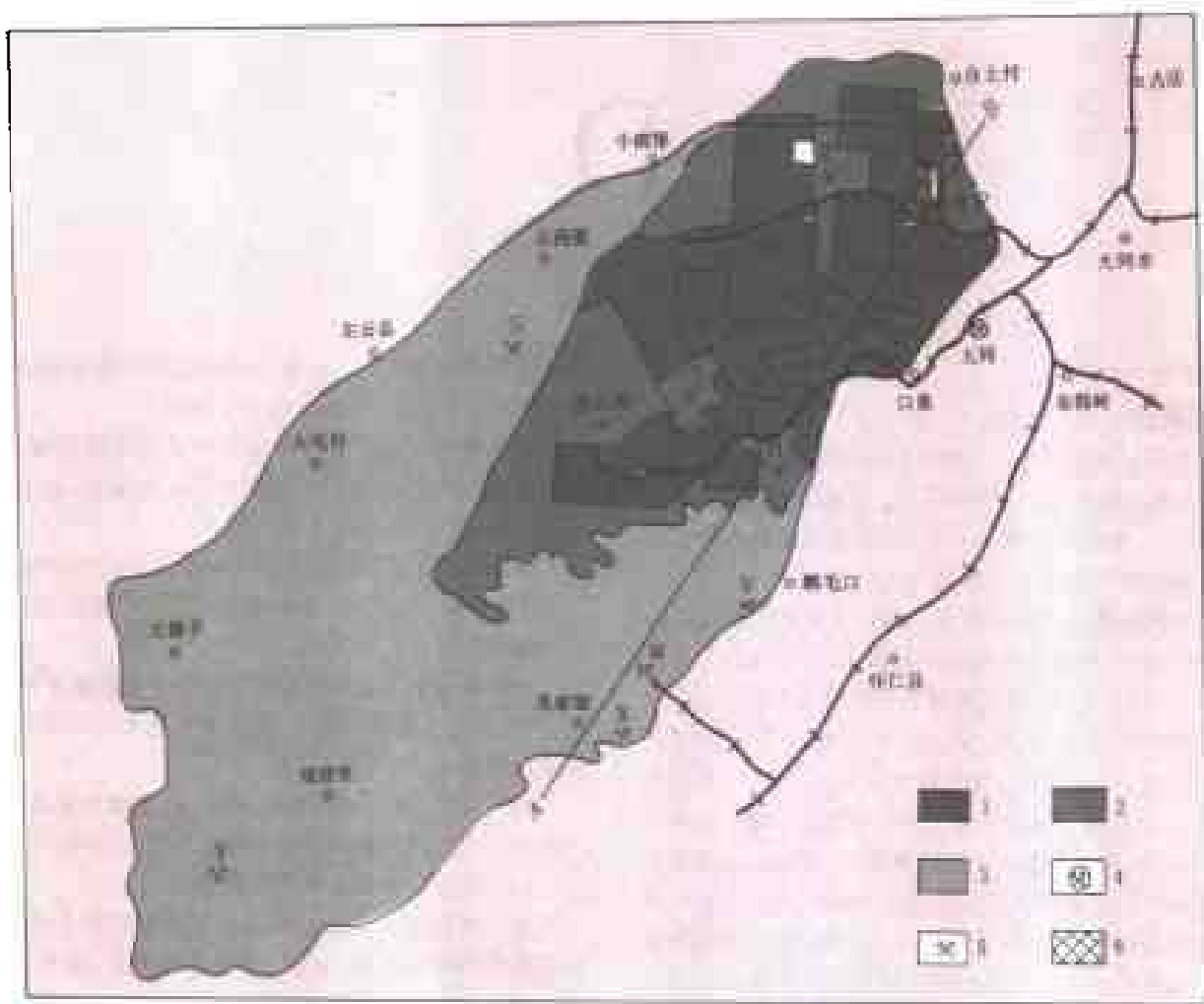
(4)煤层自然发火现象比较普遍。

大同煤田石炭—二叠纪煤层目前开发仅限于浅部,除顶板管理较简单外,瓦斯、煤层自然发火、底板管理等,均比开采早侏罗世煤层复杂。

**开发概况** 大同煤田的煤炭开采大约始于南北朝。目前,早侏罗世煤层全部均已分片开发;石炭—二叠纪煤层也已开始开采。近年,整个煤田的煤炭年产量已近70Mt。其中,大同矿务局的生产能力约占近一半

大同矿务局所属各矿产煤能力表

矿	能力 (Mt/a)	矿	能力 (Mt/a)
晋华宫	3.15	雁 崖	1.60
忻州窑	1.60	挖金湾	1.70
煤峪口	1.70	王 村	1.80
永定庄	2.30	云 岗	2.70
大斗沟	1.40	四 台	5.00
同家梁	2.20	马脊梁	0.50
白 洞	1.60	燕子山	4.00
四老沟	2.30	合 计	33.55



大同煤田示意图

1—侏罗纪煤生产区；A 晋华宫矿，B 忻州窑矿，C 煤峪口矿，D 永定庄矿，E 大斗沟矿，F 同家梁矿，G 白洞矿；H 四老沟矿，I 雁崖矿，J 挖金湾矿，K 王村矿，L 云岗矿，M 四台矿，N 马营梁矿，O 燕子山矿；2—侏罗纪及石炭二叠纪煤区；3—石炭二叠纪煤区；4—大同矿务局；5—重点地方煤矿；P 青磁窑矿，Q 吴官屯矿，R 姜家湾矿，S 东周窑矿，T 杏儿沟矿，U 马口矿，V 焦煤矿，W 小峪矿，X 王坪矿，Y 玉井矿；6—云岗石窟

(上页表)。随着石炭二叠纪煤的开发，煤田总生产规模将逾 100Mt/a。

(王煦曾)

dibiaoshui fangzhi

地表水防治 (control of surface water)

指在地面修筑防排水工程或采取其它措施，防阻或减少地表水及大气降水直接流入或间接渗入露天矿坑或矿井井下。它是一项经常性工作。

**地表水防治的任务** 露天矿和矿井有不同的地表水防治任务。

(1)露天矿地表水防治的任务是，防阻地表水流入

露天矿坑;防止露天矿场和矸石堆遭受大气降水所形成的径流的冲蚀及因水的渗入而形成的滑坡;防止运输道出现冰堆。

(2)矿井地表水防治的任务是,防止地表水通过天然或采矿形成的裂隙或洞穴,渗入、流入或渗入采区。在喀斯特类矿床地区,防止由疏水或突水引起岩溶塌陷,及其导致的地表水和大气降水涌入矿井。多年来,湖南、江西、四川、广西等省区因地表水和暴雨贯入,曾有上百个矿井遭到不同程度的淹没。

**制订地表水防治措施的原则** ①统筹兼顾。综合考虑矿区实际情况、矿区发展远景和工业布局,不能影响工农业和生活供水及环境保护。②以防为主,防治结合。既要防止与缩小开采沉陷、塌陷形成充水通道,使地表水不渗入或少渗入矿井,又要预先设法使地表水不在矿区蓄积。③多措并举,综合治理。江苏徐州贾汪矿区为防止地表水渗入,兼用疏、截、堵、隔等办法,收到了显著实效。

**露天矿地表水防治** ①在露天矿外围修建截水沟渠或防洪堤,有时采取河流改道措施并修建疏水沟,将水流导出露天矿田以外。②在台阶平台上敷设泄水沟,汇集与排泄露天各帮的大气降水,避免其冲刷边坡与渗入土中形成滑坡。③将矸石堆表面整平压实,使降水从表面流走;在矸石堆表面布置排水沟,消除积水条件;在矸石堆基底铺设渗透垫层,用以收集和排泄渗入矸石堆的降水。

**河流铺底或改道** 当河流、沟渠等流经矿区对矿床充水起主要作用的断层破碎带或含水层露头带时,可在河床、沟渠底部的漏失地段修建不透水人工河床,以制止或减少河、渠水的漏失量。

露天采矿时,在流经矿区的河道上游无筑坝条件或难于筑坝的情况下;或地下采矿时,河流底层有破碎带或透水层,经过可靠的水文地质论证,证明其对矿井充水确有明显影响,而采用修建人工河床或留设防水煤(岩)柱等措施均不适宜,或在技术上不可行时,均可采用河流改道方案。新河道以线路最短、坡度合理为佳;要尽可能避开不稳定土层或漏失严重的地层,最好选在隔水岩层上。在其起点处设置拦河坝,将水流导入新河。

改道后的旧河道,须改变积水条件。在顶板冒落及开裂所形成的冒落带和导水裂隙带可能波及的旧河道处,须采取回填,将废河道改作农田等相应措施。

**山前矿区地表水防治** 不少煤矿区位于山前,加上开采沉陷,地面洼地面积大,易于遭受雨季洪泛侵袭。这些矿区防治地表水的措施有,①蓄防结合,山区修建蓄水水库,开挖鱼鳞坑植树造林,减少山水泄入矿

区;②山前开挖排洪沟,将洪水截夺排出矿区;③对矿区内具有威胁性的积水,修渠导流或设专用排水站排除;④对因采矿塌陷产生的地表裂缝和能构成补给通道的基岩裂隙、构造破碎带、溶洞、废弃的小窑井筒等,都要进行有效的封堵。回填地表裂缝和导水通路,应视为日常工作。

**喀斯特塌陷处理** 喀斯特矿区,特别是中国南方喀斯特矿区,矿井排水常引起地面塌陷,构成地表水与大气降水直接灌入和渗入矿井的通道。对于出现塌陷征兆或已发生塌陷的矿区,应进行专门性补充勘查。首先,从地质、水文地质条件,地貌特征等方面入手,进行预测。在此基础上,布置钻探和物探工程,查明发育中塌陷的分布状况和塌陷孕育条件。钻孔可根据物探结果布置。在已发生塌陷的地段,设立观测点,监视和预报险情。在防止和治理塌陷时,应从控制塌陷形成要素入手。地表水的活动,地下水径流条件的变化,均会促成塌陷发生。因此首先,要管理好地表水,对各种主要渗漏段进行清基铺底,或修筑河槽等;挖渠拦洪,避免降雨汇入塌陷区并及时排除塌陷区内的积水。其次,地下水水位的猛烈降落,会触发地面塌陷,对喀斯特含水层的疏干,应有计划地进行;井下大型突水点,当条件允许时应予以封堵;有的突水点可采用埋设导水管、安装水门、控制突水量和地下水头变化等措施。第三,对已停止发展的塌陷,必要时应筑墙、堵洞;对地表水土流失严重的塌陷和喀斯特通道,一般选择在通道上坡度缓、断面小的地段修筑混凝土墙,阻止地表水土沿洞灌入通道,减弱水流的冲刷和潜蚀作用。对洞口小而深的塌陷坑,采用围堰法隔断水土,防止其灌入通道。

(李金凯)

diquiwulikantanshujuchuli

**地球物理勘探数据处理** (geophysical data processing) 又称物探数据处理,利用计算机对地球物理勘探野外采集的原始数据进行整理、运算、分析、加工的过程。

20世纪60年代中期开始,随着计算机工业的发展、物探资料数据处理技术发展迅速,已形成一个新的专业技术领域,成为各种物探方法不可缺少的一个重要组成部分。各种物探方法,以大型向量并行机或微机作为平台分别建立了专用数据处理系统和交互解释工作站,对原始数据进行处理,分析与解释,大大提高了数据处理的速度和自动化程度。

物探数据处理技术是数学、物理学、地质学、计算机学相结合并借鉴各学科的新理论而发展起来的,通

过不断建立起新的物理模型和算法,使物探方法的解释精度与解决地质问题的能力不断提高。

**煤田地震勘探数据处理** 对地震勘探野外采集的数据进行整理、加工的过程,包括改善信息、信息提取与分析以及地震信号的空间归位等,借以提高地震信号的信噪比、分辨率以及成象的清晰度与精度,绘制便于进行地质解释的各种图件。

地震勘探可以看成是以地层为传输通道的通信系统。地下传输介质的复杂性和地震信号源的不确定性,增加了地震数据处理的难度,除了借鉴通信理论和一般的信号处理技术外,需要根据弹性波传播理论建立各种物理模型,研究相应的数学分析方法和数理统计方法。

**预处理** 正式处理前的准备工作,包括解编、恢复真振幅、编辑、抽道集等。

地震原始记录是对多道检波器分时采样并按时序排列。通过解编变为按道序排列并显示,以便检查记录质量,确定不合格数据及部分切除范围。解编的资料经增益恢复和真振幅处理后,按后续处理的不同要求,分别以共炮点、共中心点、共检波器点、共炮检距道集形式,重新记录到磁带上保存。

**静校正** 消除地形起伏、爆炸井深、地表低速带变化造成检波点处波至时差影响,称人工静校正。由于人工提供的原始数据有误差,人工静校正后的结果不能完全消除地表因素造成的时差影响,因而还要进行自动剩余静校正,以消除长周期或短周期的剩余静校正量。

**动校正** 消除炮检距对一次反射波波至时间的影响。将非零炮检距地震道接收的反射波旅行时间 $t$ ,校正到炮点和检波点中心处对应的自激自收时间 $t_0$ (反射波回声时间)。对于共中心点道集,经过动校正,可使各道的反射波变为同相位。

**速度分析** 利用地震资料求取地下速度场分布,包括:二维和三维速度场分析。既可在 $t-x$ 域或 $\tau-P$ 域内进行,也可经希尔伯特变换后在复数域内分析,最终求得叠加速度、偏移速度和层速度等资料。

在 $t-x$ 域内作速度分析,一般采用速度扫描和速度谱两种方法。前者利用连续多个共中心点道集,用不同的速度进行动校正后叠加,根据叠加剖面上各反射层的品质来确定叠加速度。后者是利用一个共反射点道集,对各个 $t_0$ (按一定时间间隔取值)时间,用不同的速度进行动校正后叠加,求出一定时窗内的能量,得到各 $t_0$ 时的谱线,根据 $t-v$ 剖面内的能量分布情况,得出速度随深度的变化曲线。

**叠加** 一种提高信噪比的处理方法,分垂直叠加

和水平叠加两种。垂直叠加是保持炮点和检波点的位置不变,而将炮点处多次激发的结果相加,用以代替一炮的观测结果。水平叠加是将来自地下同一反射点的不同炮检距记录道,经动校正后相加,形成水平叠加时间剖面,它间接地反映了地下岩层的分布形态,是地震解释的基础资料。

**偏移** 根据地震反射信号,求地下反射点位置的归位成像技术。倾斜反射界面使水平叠加剖面的同相轴位置偏离真实界面位置,同时也使各叠加道的反射点位置发生偏离而不在同一个点上。偏移处理是解决上述问题的一种处理方法,使反射波、绕射波、回转波都归位,得到较清晰的真实界面形态。偏移处理有叠加前偏移和叠加后偏移两种。处理方法分绕射线偏移和波动方程偏移,包括克希霍夫积分法、有限差分法、相位偏移法、频率-波数域偏移法、逆时偏移法、深度偏移法等。

**滤波** 压制干扰,突出有效信号的一种处理方法。地震记录上有效波和干扰波往往在频率、波数或视速度方面有差别,利用一维或二维滤波,能有效地压制干扰。数字滤波是通过在时间域(或空间域)内作褶积运算,或在频率域内作乘积运算来实现。

**反滤波** 消除另一种滤波器效应的过程。又称反褶积。反褶积是上述滤波作用的逆过程。通过反褶积,可以估算地下反射层的反射系数,是一种反演方法。同时,反褶积可以压制多次波和压缩地震反射波的延续时间,提高地震记录纵向分辨率。求取子波是进行反褶积的关键,根据子波提取和处理方法及所依赖的关系,可有多类反褶积,包括最小平方脉冲反褶积、预测反褶积、零相位反褶积、同态反褶积、最大熵反褶积、最小熵反褶积、多道统计反褶积等。

**煤田测井数据处理** 对测井数据进行加工、运算和分析,实现测井资料地质解释和成图自动化的过程。

煤田测井资料数据处理主要在微机上进行,采用包括数据库、处理、解释、绘图等内容的专用测井处理软件,完成预处理、岩性识别与分层、岩层与煤层分析、岩石力学性质分析、岩层产状计算、岩石物性标志层识别、全波列声波资料分析等项任务,并以图、表的形式输出解释成果。

**预处理** 测井资料正式处理和解释之前的准备工作,包括原始数据质量检查、纠错与插值、深度对齐、对不同测井曲线用相应的方法进行刻度和测井环境校正等。

**滤波** 提高信噪比,突出有效信号的处理方法。采用空变低通滤波消除测井过程中的随机干扰,特别是

消除核测井统计涨落造成的随机噪声。采用反褶积,补偿 $\gamma$ 测井、感应测井等方法的高频损失。

**曲线转换** 根据地质解释的需要,对测井资料作一定的数学变换,包括曲线的差分、活度、倒数、对数及不同曲线求平均值、乘积等运算。

**岩性识别** 根据多种测井曲线的配合(响应),判别岩性与分层,建立钻孔地质剖面,确定煤及夹研的深度和厚度。通常采用数理统计分析方法,包括概率统计法、判别树法、判别分析法、聚类分析法等。任何一种测井方法均难以绝对准确地识别岩性。以多种曲线相配合,根据区域地质特点选用合适的数学方法,辅以必要的人工干预,是提高自动岩性识别成功率的关键。

**岩层与煤层分析** 计算岩层和煤层中主要成分含量。一般采用概率模型和体积模型两种分析方法。

(1) 概率模型。将岩性、物性和测井参数当作随机变量,用回归分析对大量有代表性的已知资料进行统计,建立回归方程并求取系数,从而对未知资料求解。

(2) 体积模型。按物性差异大小,将岩石和煤的组分进行简化,建立测井响应与简化后组分之间的响应方程,用解联立方程组的方法求出各组成成分含量。常用的模型有,①由砂、泥、水组成的泥质岩石体积模型;②由纯煤、湿灰分、水组成的煤层体积模型。

**岩石力学性质分析** 根据测井数据估算岩石的杨氏模量、切变模量、体积模量、泊松比、强度指数、抗压强度、抗剪强度等力学参数,为煤矿开采提供资料。

**电法勘探数据处理** 对电法勘探的数据进行加工、模拟、运算,形成各种供地质解释使用的图件。

电法勘探分支方法较多,处理方法有所不同,不过处理重点都是以正、反演为主。其中,以直流电法勘探中电测深法的数据处理比较完善。传统的直流电测深曲线解释方法复杂、精度不高。1971年,法国D. P. Ghosh提出用线性滤波方法快速计算直流电测深曲线的理论,为电测深资料的数据处理奠定了基础。

**正演模拟** 根据多层介质各层的厚度与电阻率,绘制电测深模拟曲线。正演模拟通过数字滤波过程实现。

**反演解释** 利用计算机对实测电测深曲线进行自动解释,求地下各电性层的厚度及电阻率。反演主要采用最优化法,根据实测曲线形态建立地下地质模型,绘出初始参数计算理论曲线,将理论曲线和实测曲线进行拟合,并计算拟合差、自动调整模型参数,直到拟合差满足精度要求为止,最终的模型参数即为解释结果。反演的方法有:直接拟合实测电测深曲线法、拟合核函数反演法、DZ反演法等。后两种方法需先将实测电测深曲线转换成核函数曲线和DZ曲线,再进行拟合。在

不分层而只求基底深度的解释中,常用电测深曲线快速反演方法。

除了正演、反演之外,直流电法数据处理还包括:电测深曲线的圆滑、内插、外延处理,电测深计算K剖面,进行地形校正、高密度电阻率法计算,电剖面的互相关与叠加等内容。

**重磁勘探数据处理** 利用计算机对重磁数据进行存贮、整理、加工、运算,形成各种用于地质解释的图件和参数的过程,包括:数据初步整理,异常平滑、异常划分,位场转换,正、反演计算等内容。

**初步整理** 对重磁勘探野外实测数据进行检查,质量评价,基点网平差,重力异常零点改正、地形改正、中间层改正、高度改正、纬度改正,磁力异常H变改正,绘制重力或磁力异常平面图、剖面图、剖面平面图。

**异常平滑** 对重磁异常进行光滑处理,消除在测量中及对测量结果进行各种改正时带来的偶然误差以及表层干扰。在保证异常特征与趋势的前提下,针对剖面的某个区间或平面的某面积范围,建立拟合多项式,用线性或高次曲线(面)分段或分块进行拟合,以达到压制高频及随机干扰的目的。

**异常划分** 从叠加异常中分离区域异常和局部异常,突出局部异常特征。使用的方法有:偏差法、圆周法、网格法、趋势面分析法等。

**位场转换** 分离叠加异常,突出不同深度场源体造成的异常特征,包括解析延拓和求取重力位高阶导数。

(1) 由观测平面上的实测值,求场源外部其它空间位置上的位场值,称为“异常解析延拓”。重磁勘探常分别用向上延拓和向下延拓,突出深部和浅部的异常。

(2) 由观测平面上的位场相对值,求同一平面上的位场高阶导数,借以在纵横方向上分离叠加异常,突出次一级异常特征。

**正反演计算** 给定异常的埋深、形状、大小、产状及物性参数,通过计算或用量板求其引起的重力异常和磁力异常,称为正演问题。已知异常,采用反演法、选择法、直接法和迭代法,求取引起该异常的异常体埋深、形状、大小等参数,称为反演问题。

**滤波处理** 将重力异常, $f(x, y, z)$ 看成电信号的波形 $f(t)$ ,用滤波理论解决重磁资料处理的有关问题。异常平滑、异常向上延拓,相当于低通滤波,用圆周法、网格法求局部异常相当带低通滤波。异常向下延拓和求高次导数相当高通滤波。数字滤波既可在时间(空间)域中通过褶积运算实现,也可在频率域中通过乘积实现。20世纪60年代后期,位场的频域技术有了很大的发展,使重磁位场转换,正、反演计算工作简

化,有力地推动了重磁数据处理的发展。

(孙文涛)

dizhen dicengxue

**地震地层学** (seismostratigraphy) 以反射波法地震资料为基础,用沉积学与地层学的观点,研究分析地震剖面上反射模式及几何外形,判定沉积岩的性质划分、对比地层,重建盆地的沉积历史并推断沉积环境,预测岩性、岩相的学科。其方法是地震反射信息地质解释的重要组成部分。它改变了已往地震解释单一利用时间、速度等地震反射波运动学参数研究地下岩层、构造形态的状况,启发地质学者用新眼光分析它们总的地震特征,以及利用振幅、频率、相位等地震反射波动力学参数,获得地层和岩性的有关信息。

**沿革** 1970年前,反射波法地震勘探主要利用地震波旅行时间和速度,判断地质构造形态。随着新采集技术、新仪器设备及处理方法的应用与发展,高分辨率、高信噪比、高保真地震数据的获得,有可能从地震勘探资料中提取地层信息。

1966年,美国P. R. 韦尔(P. R. Vail)等人率先开始地震地层学的研究,大量的实例与论文在美国石油地质学家协会1975年年会上发表。他们提出的方法,是当今世界许多沉积盆地评价含油气远景的基本工具。20世纪80年代,这一方法引入中国,先是在石油勘探中广泛应用。1983年开始应用于东北中生代煤盆地沉积环境及含煤性预测。

**原理** 地震反射产生于岩石中具有速度-密度差的物性分界面。地层界面和不整合面分隔了不同沉积环境、不同沉积作用下形成的不同地质时代的地层,具有明显的速度-密度差异,与地震反射面对比关系,地震反射所获得的地震剖面是年代地层(时间-地层)的沉积和构造模式的记录,具有地层学的含义。

地震反射不仅可以解释沉积后的构造变形,而且可以作出六种类型的地层解释。①地质时代对比。②确定沉积层系及其厚度和环境。③古水深。④埋藏史。⑤不整合面的起伏。⑥与地质资料相结合,解释古地理和地质史。

**研究方法** 对一个盆地的区域地层作地震地层学研究的方法包括地震层序分析、地震相分析及海平面相对升降变化分析等三个方面。

**地震层序分析** 地震层序是在地震剖面上所反映的沉积层序,它将地震剖面分成一些相对统一的反射组,这些反射组可解释为成因上有联系的一套地层。这套反射,其顶、底以反射终止现象为标志的不连续面为界,这些不连续面可解释为不整合面或者是可以和它

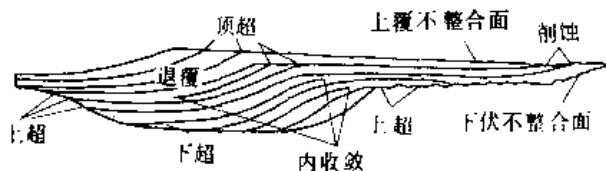
们对比的整合面。层序顶部不整合关系包括削蚀和顶超;底部不整合关系包括上超和下超,两者统称为底超(下图)。

(1)削蚀。地层沉积后被侵蚀掉,其顶部以不整合面与上覆地层接触的现象,它是顶部不整合的最可靠标志。在该层序单元顶部,地震反射终止。

(2)顶超。没有沉积或只有轻微侵蚀形成的现象,在该层序单元顶部,地震反射终止。顶超分布范围多半是局部的,往往不能进行区域对比。

(3)上超。沉积物沿上仰方向不断超覆并尖灭于底界面的现象。在该层序单元底部,水平的或倾斜的地震反射逆底界面向上超覆依次终止。

(4)下超。沉积物沿下倾方向不断超覆并尖灭于底界面的现象。在该层序单元底部,地震反射沿底界面倾向向下终止。



地震层序内地震地层反射终止  
现象示意图

**地震相分析** 通过描述地震相(结构、连续性、振幅、频率和层速度等地震反射参数),并对它们进行地质解释,分析层序单元内的沉积环境和岩相特征(见煤系地震地层相)。

**海平面相对升降变化分析** 以上超和顶超这两个最可靠的地层标志,分析海平面相对升降变化。地震剖面为确定层序单元内的上超和顶超模式提供了最佳手段。①海平面相对上升。以海岸沉积物的上超为标志,沉积物向陆地方向上超的垂直分量称海岸加积,海岸加积的厚度可确定上升的幅度。②海平面相对静止。表现为顶超现象。③海平面相对下降。以海岸沉积物的上超现象从一个层序的最高位置顺沉积斜坡向下转移到上覆沉积层序中上超的最低部位为标志。一个典型的海平面相对升降周期由海平面的一个逐步相对上升时期、一个相对静止时期、一个迅速相对下降时期组成。

有人认为,沉积盆地的海水平面升降,可与大区域甚至全球性海平面升降周期和幅度对比。海平面变化由冰川引起或由板块构造运动造成,至今认识尚有分歧,但大多数地质学家认为,相对海平面变化,影响陆地边缘和沉积盆地内部沉积物的几何形态和沉积相分布。



**应用** 有人认为, 广义的地震地层学还应包括地震岩性学的内容。20 世纪 60 年代, 地震地层学早期的研究, 主要是从地震剖面上的总特征宏观分析地震层序及地震相, 粗分岩性, 预测生油层及储集层的分布。随着研究的深入, 又开展了地震岩性学的研究, 着重研究单个反射层或一个小反射层组的特征, 包括反射波形、频率、振幅及振幅随偏移距的变化; 反射波瞬时振幅、瞬时频率、瞬时相位及极性等。人们根据这些信息, 在石油地质勘探中预测反射层岩性及储集层厚度、密度、孔隙度和流体成分等参数; 在煤田地质勘探中可预测煤层的宏观结构与煤层厚度的变化。

地震地层学的分析方法是石油勘探的重要手段, 在煤田勘探中也具有应用前景。

#### 参考书目

C. E. 佩顿, 《地震地层学 (在油气勘探中的应用)》, 牛毓荃等译, 石油工业出版社, 1986 年。

(刘天放)

dizhen kantan ziliao dizhi jieshi

**地震勘探资料地质解释** (geological interpretation of seismic data) 结合地质、钻探及其它地球物理勘探资料, 根据地震波传播理论、地震模拟研究 (见地震模拟技术) 与地质规律, 将地震时间剖面转变成地震地质剖面, 以获得地质构造、地震地层及地震岩性 (包括烃类检测) 等三方面信息的工作。

地震资料地质解释包括地震构造解释与地震地层学解释。

**地震构造解释** 依据地震反射波法及折射波法所获信息进行的构造解释。前者适用于中深层油、气田与煤田勘探; 后者则更适用于浅层工程地质勘探及地震测深。地震构造解释是地震勘探资料解释的常规内容。

**反射波资料构造解释** 利用反射波旅行时及传播速度等运动学特征, 把地震时间剖面 (以波至双程时间为纵坐标垂直向下的地震剖面, 简称地震剖面) 变为深度剖面, 勾绘主要反射层的构造图, 以查明反射界面在地下的埋藏深度、空间几何形态, 断层和褶曲的位置与产状。构造解释包括时间剖面对比、剖面地质解释以及深度剖面和构造图的绘制。

**时间剖面对比** 识别与追踪来自同一界面的反射波。相邻地震道同一界面的反射波具有相位相近 (同相性)、振幅增强、波形相似的特点。这三大特征是反射波对比的基本标志。在一组地震道上, 同一界面反射波相同相位波峰或波谷的连线, 称为同相轴。根据目的层或其附近一个或一组反射波同相轴的特征, 首先从垂直地层走向的主测线开始对比, 然后进行联络测线的

对比。在水平叠加时间剖面上, 沿测线闭合圈追踪对比同一界面的反射波, 在测线交点处回声闭合误差应小于半个周期。

**剖面地质解释** 划分地震层序; 确定反射层的地质层位; 识别与确定断层和褶曲等地质构造。

不整合面是划分地震层序或不同构造层的标志。人工合成地震记录 (假设某种波形的地震子波, 通过事先设计的模型, 人工制作的地震反射记录, 包括一维与二维合成地震记录或剖面。它是进行地震层位与地质层位对比的一种手段) 与垂直地震剖面法 (VSP) 是确定通过钻孔剖面的反射层位地质属性的可靠方法。断层在时间剖面上的标志包括反射波同相轴的扭曲、分叉与合并; 同相轴强相位转换与错断; 同相轴消失或增多; 同相轴波组间隔与产状突变; 反射零乱, 甚至出现空白带等现象, 有时伴随出现断续的绕射波、断面反射波等异常波 (图 1 见下页)。对于困扰煤矿生产的落差小于  $\lambda/4$ , 即小于 10m 的小断层, 在反射波运动学特征 (地震波传播时间与空间的关系, 包括旅行时间与速度等) 不明显时, 靠反射波动力学特征 (地震波传播中的能量特征, 包括波动的频谱、振幅、频率、相位、衰减与偏振状态) 加以解决。断层标志的清晰程度, 与断层面的倾角, 断层的规模、埋藏深度, 断层两盘的岩性差异, 测线与断层走向的夹角, 以及时间剖面本身的信噪比等多种因素有关。

在水平叠加剖面上, 背斜对地震波能量具有“散焦”作用, 使反射波振幅减小, 外形显得比其实际形状更宽缓 (图 2); 相反, 向斜具有“聚焦”作用使反射波振幅增大, 在外形上, 显得更紧闭。当向斜曲率半径小于埋藏深度时, 则出现回转波 (图 3), 其中间凸起

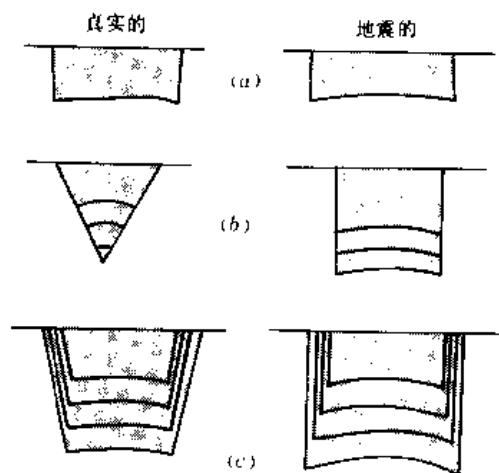


图 2 背斜在时间剖面上的形态

a—地震剖面上的背斜比实际背斜宽; b—在同一观测地段上观测不同埋深、相同曲率的背斜; c—在逐渐加宽的地段上观测不同埋深、相同长度及曲率的背斜

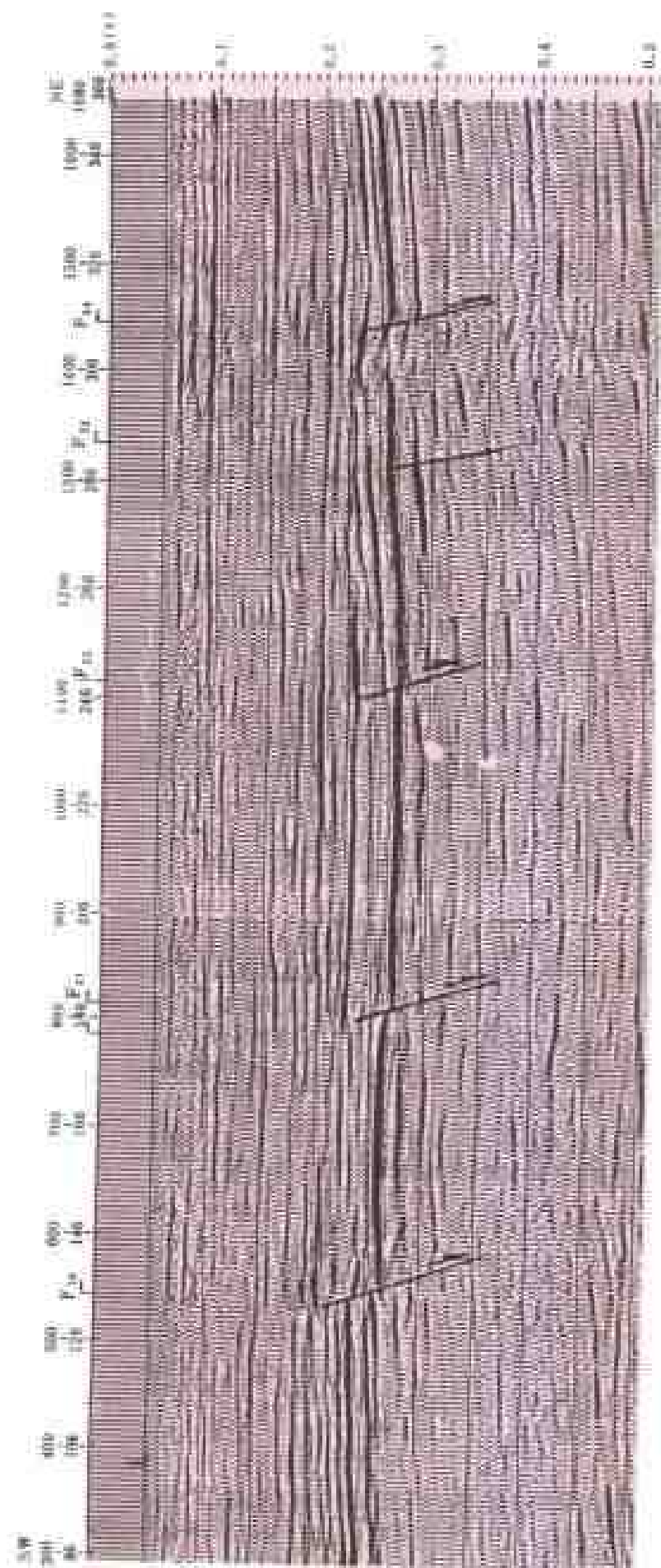


图1 中国某煤矿10线地震剖面  
(经井巷掘进证实,  $F_{10}$ 、 $F_{21}$ 、 $F_{22}$ 、 $F_{23}$ 、 $F_{24}$ 断层的落差分别为32m、12m、8m、2m及4.3m)

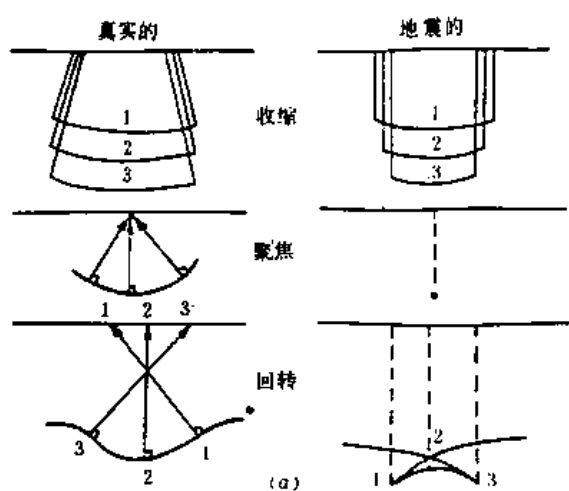
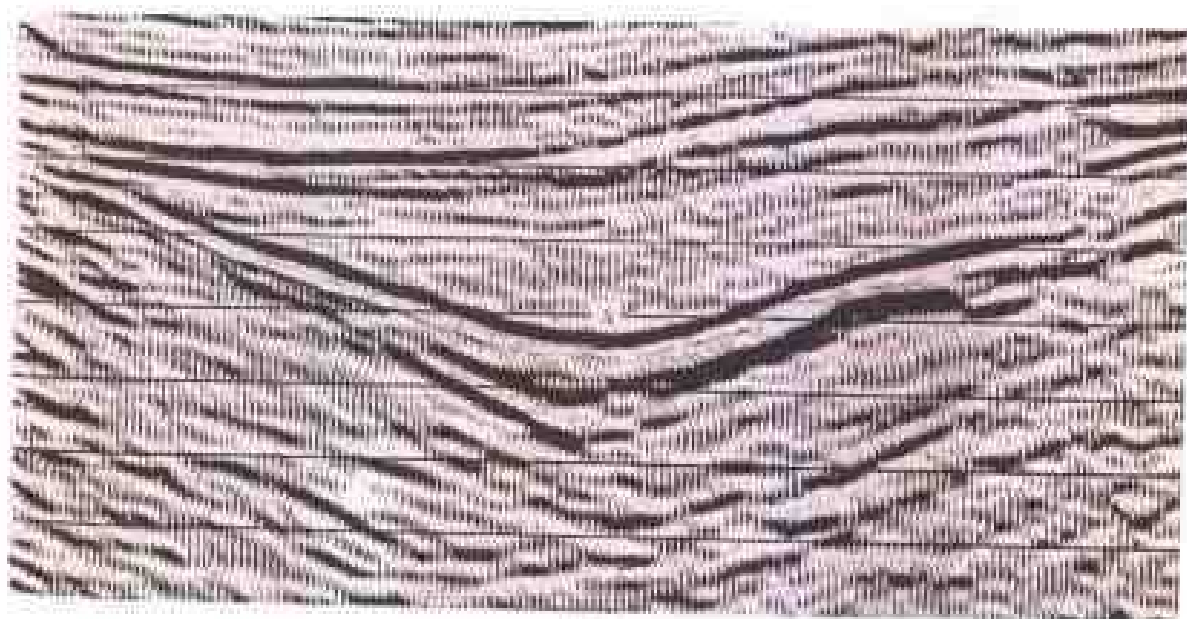
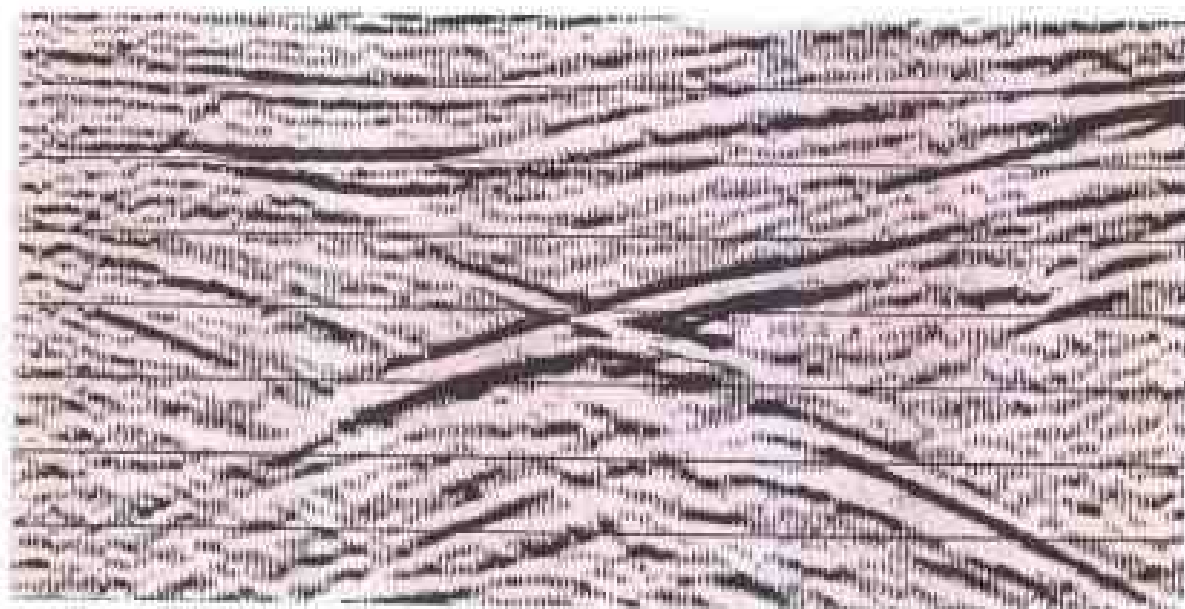


图3 向斜在时间剖面上的形态  
a—向斜模型及其在时间剖面上的形态；b—偏移前向斜剖面；c—偏移后向斜剖面，形态明显



部分的顶点, 相当于向斜的核部。

**构造图绘制** 构造图(反映某一地震层位深度的等值线平面图)是地震资料构造解释的最终图示, 常用的有反射波回声时  $t_0$  等值线图(或等  $t_0$  平面图)与反射波构造等高线图(或等深线平面图)。这两种图件绘制方法类似, 都针对某一目的层绘制, 其区别只是  $t_0$  图所取参数是  $t_0$  时间, 而构造等高线图所取参数是反射层的高程。

绘制  $t_0$  等值线图的方法是, 先直接从地震时间剖面上抽取数据, 将同相轴, 断点、背、向斜核部的反射时间及它们的位置, 投影展示到测线平面图上, 然后将同一断层的断点组合连结起来, 成为断层在平面图上的走向线; 同时, 在平面图上标出褶曲的轴迹, 形成  $t_0$  构造图的骨架。再按地质任务的精度要求与资料的质量, 选取合适的等时距, 即可勾绘出  $t_0$  等值线。

断点组合是正确勾绘  $t_0$  等值线图的关键。断点组合的原则是, ①同一断层在互相平行的测线上性质相同; ②断开的层位基本一致; ③产状与落差相似或沿走向规律地变化; ④断层性质、产状、相互切割关系应符合区域构造的格局。未被组合的孤立断点应是落差小、延伸不大的小断层。

从  $t_0$  等值线图到构造等高线图需经时—深转换与空间归位。①在反射界面水平或近于水平时, 界面深度  $h = \frac{1}{2}vt_0$ 。式中  $t_0$  为回声时间, s;  $v$  为地震波传播速度, m/s。时—深转换的精度取决于速度参数值。转换时采用的均方根速度、平均速度或层速度, 可从地震测井(将检波器沉入钻孔内, 记录地表炮孔内激发的地震能量, 以确定平均速度与深度函数关系的一种方法)、垂直地震剖面法和速度谱分析获得。钻孔较多的煤田勘探区, 可由在剖面上的钻孔中得到目的层的深

度和反射波  $t_0$  时间, 通过反算获得地震波传播速度。

②当反射界面倾斜时, 界面深度  $h = \frac{1}{2}vt_0$ 。所计算的岩层深度, 与地质剖面上的深度不同, 地震剖面对应的是地震射线平面, 它垂直于反射界面(图4)。从地震时间剖面上回声时  $t_0$  计算的深度是法线深度, 该剖面上反射层的倾角是视倾角, 需经过校正才是铅垂方向反射界面的深度和真倾角。按前述勾绘  $t_0$  等值线图的方法, 用人工或计算机绘出构造等高线图(图5)。

中国石炭二叠纪煤田多被松散的第四系直接覆盖, 它与基岩的弹性差异大, 作时—深转换时, 应考虑中间界面的折射作用。

**折射波资料解释** ①折射波对比。②折射波时距曲线(地震波旅行时间与炮检距的关系曲线图, 亦称  $t-x$  曲线图)的绘制与综合。③折射界面的构组与界面速度的计算。最终获得折射层构造图和断层位置及不同岩性分布图(包括新生界下伏基岩地质图)。

来自同一界面的折射波对比(在记录上识别同一界面折射波的工作。对比标志包括振幅增大, 同相性, 波形相似, 炮点与检波点位置互换时时间相等)多在单炮记录上进行。每个折射波都有自己的初至区, 在初至区内对比追踪折射波既容易又可靠。当界面弯曲不大时, 折射波同相轴是平滑的直线或光滑曲线, 界面倾角与岩性突变时则呈折线状。

根据多炮记录沿测线连续追踪同一界面折射波, 进行相邻记录间的对比时, 一要遵循连接互换原理, 即炮点与接收点不变或炮点与接收点互换时, 旅行时相等; 二要遵守追逐时距曲线平行性原理, 即同一观测排列一侧不同炮点激发所得时距曲线相互平行或斜率相同。

折射波与反射波传播途径不同, 折射波资料解释

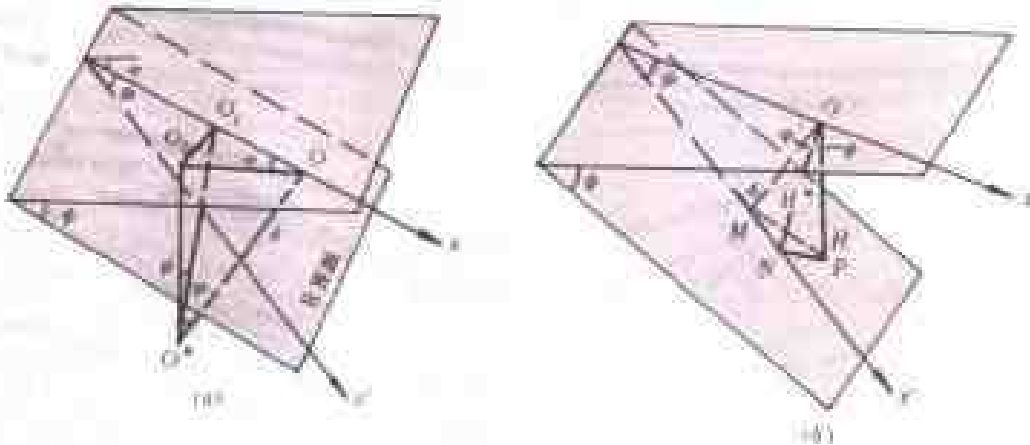


图4 界面倾斜时, 地震深度、倾角与真深度、倾角间的关系

$\alpha$ —倾角关系;  $b$ —深度关系;  $\varphi$ —视倾角;  $\psi$ —真倾角;  $\alpha$ —测线与倾向间的夹角;  $h$ —法线深度;  $H^*$ —视深度;  $H$ —真深度;  $O$ —炮点;  $O^*$ —虚震源

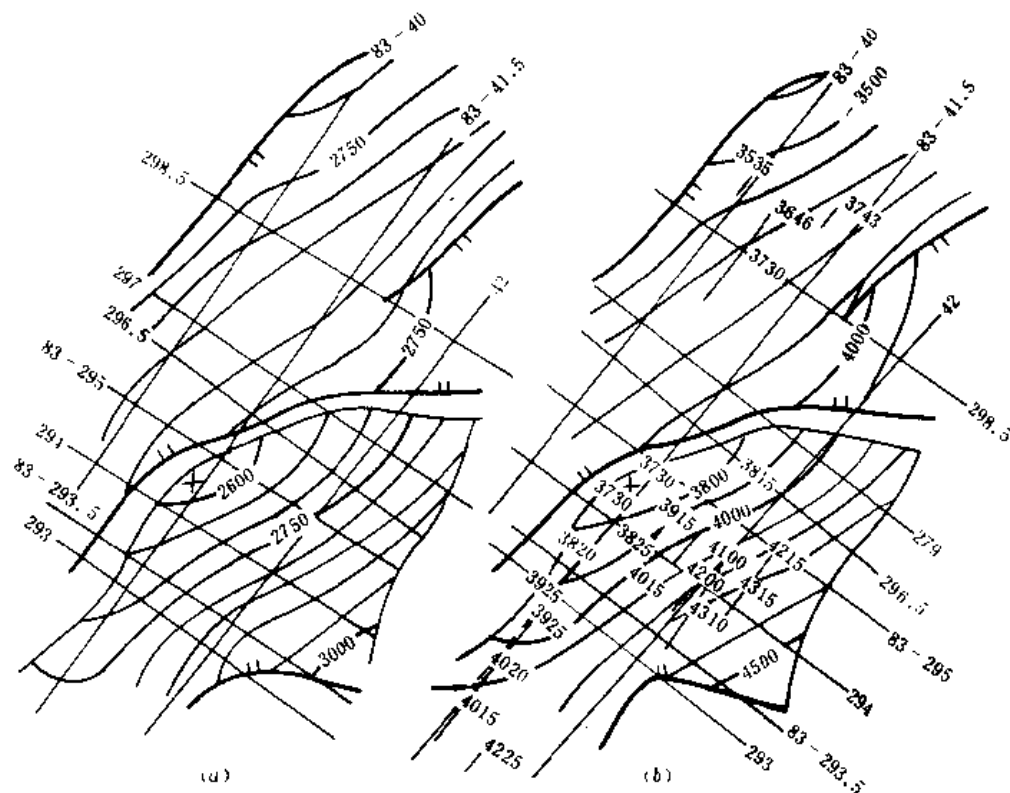


图5  $t_0$  等值线图 (a) 与构造等高线图 (b)

具有自身的特点。它以相遇正、反向两支综合时距曲线为基础。综合时距曲线同属一个界面, 具有足够长的覆盖段。它是将初至区观测、有限长度的折射波时距曲线, 根据连接互换与追逐时距曲线平行性的原理, 在足够长的测线段上综合整理绘制的。从综合时距曲线构造折射界面的方法有许多, 常用的有差数时距曲线法与时间场法。

从多条测线解释结果, 经过适当校正, 可绘制折射界面的等深图或构造图及折射层的速度分布图。

在中国, 地震波在二叠纪含煤岩系中的传播速度为 3400~3800m/s, 在石炭纪含煤岩系中的传播速度为 3800~4200m/s, 在奥陶纪石灰岩中的传播速度高达 4500~5200m/s, 甚至更高, 只要适当划分出速度的变化范围, 由速度分布便可绘出岩性分布或基岩地质图, 圈定含煤岩系的分布范围。

地震地层学解释 (见地震地层学)。

(刘天放)

dizhen mori jishu

地震模拟技术 (seismic modelling techni-

que) 用数学模型和物理模型代替地下真实介

质, 通过计算机数值计算和物理实验, 模拟模型的地震响应, 得到理论地震记录的方法。地震模拟一般指正演模拟, 主要分为数值模拟和物理模拟。

**数值模拟** 通过计算机数值计算实现的正演模拟。给出岩层的岩性组合及各层的厚度、密度、地震波速度等参数, 计算理论地震记录。它包括一维模拟、二维模拟及三维模拟。

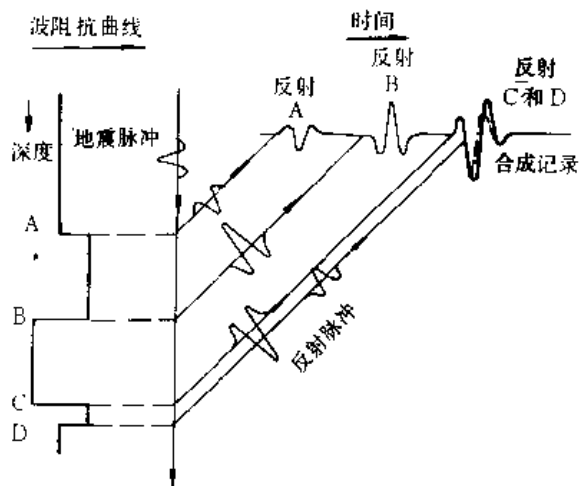


图1 合成记录原理图

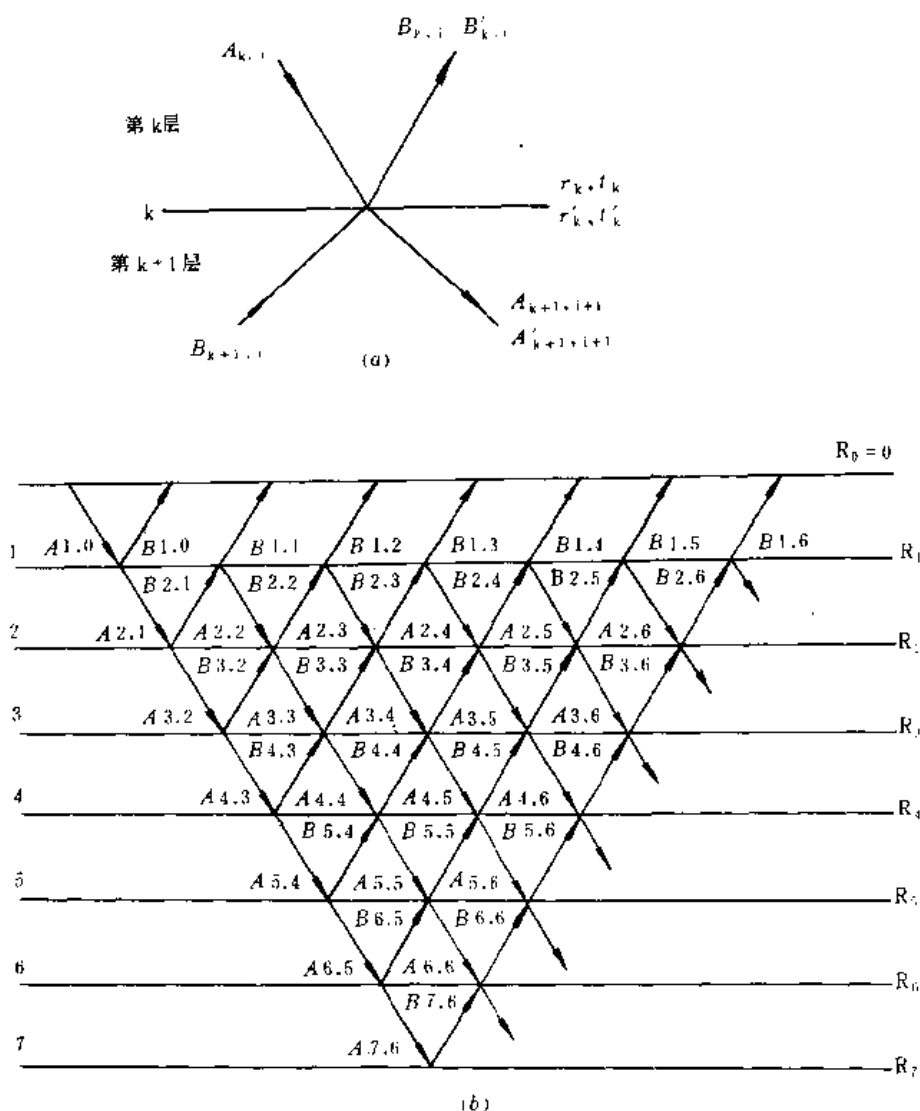


图2 层状介质递推模型 ( $R_0=R$ )

$a$ —上行波与下行波递推示意图;  $b$ —多层介质递推示意图;  $A$ —下行波振幅;  $B$ —上行波振幅;  $k$ —层的序号;  $i$ —波在层中出现的序号;  $r_k$ —界面向上反射系数;  $r'_k$ —界面向上透射系数;  $t'_k$ —界面向下反射系数;  $t'_k$ —界面向下透射系数

一维数值模拟适用于岩层水平、层内均匀、各向同性的介质,由给定的反射系数序列合成地震记录。在忽略透射损失(令透射系数为1)及多次反射(令上行波反射系数为0)的最简单条件下,反射地震记录可看成是地震子波从各反射界面反射回地表的叠加(图1),或地震子波与反射系数序列的褶积。反射系数序列可由声波测井或其它测井数据求得;地震子波可以假设或从实际地震记录提取。

若考虑多次反射,返回地表的上行波将是同一层介质下行波在界面上的反射波与下一层介质上行波的透射波之和;而下行波将是上一层介质下行透射波与

同一层上行波的反射波之和(图2a)。此时只能采取递推算算法计算反射系数序列(图2b)。

若进一步考虑介质的吸收作用,可以将吸收作用包含在反射系数序列或地震子波中。通常吸收作用与频率有关,在频域中进行计算要方便得多。

在岩层倾斜或构造复杂条件下,必需采用二维甚至三维模拟。当测线垂直岩层走向布置且忽略岩层的走向变化时,采用二维数值模拟。这本质上是从二维剖面模型出发的合成地震剖面(图3)。计算模拟方法分射线追踪与波动方程两大类。①射线追踪法。是一种正演方法,它以几何地震学射线理论为基础,根据给定的

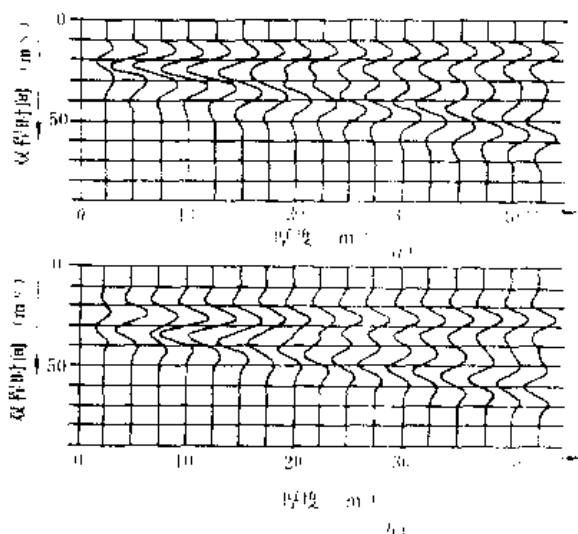


图3 上覆与下伏岩层岩性相同时薄层反射的二维数值模拟 (实验参数: 薄层速度 2500m/s; 子波频率 50Hz; 波长 50m)  
a—最小相位子波; b—振幅谱相同的零相位子波  
(据 Sheriff, 1976)

模型追踪反射波地下传播的射线路径, 计算出从震源到接收点的旅行时, 从而获得理论地震记录。它具有灵活、方便、效率高、适应性强的特点, 适用于速度变化较复杂的模型。②波动方程法。以物理地震学的波动方程为基础, 采用叠后波动方程偏移的方法, 由地下向地面逆向延拓得到自激自收剖面, 常用的方法有绕射叠加法、有限差分法及有限元法。若采用更完善的方法, 还可以模拟波型转换、反射系数随入射角的变化、面波和首波等。

**物理模拟** 用已知参数的材料做成一定几何形态的模型模拟地下地质结构, 用超声波模拟地震波; 压电陶瓷换能器模拟震源及检波器, 将野外地震勘探施工过程在实验室内重现, 获得模型地震记录。为使室内模拟观测的波场特征更接近实际, 要求物理模型与野外地质模型满足相似性准则, 即它们在几何关系、运动学与动力学上相似。

(1) 几何相似。要求模型的角度等于系统的角度, 对应长度成比例。

(2) 运动学与动力学相似。要求实际系统与模型的速度比、密度比相似。

地震模拟可用于研究勘探区内主要反射层的深度、反射波品质、多次波发育程度、能量衰减, 预测地震方法应用的可行性, 对比反射波相应的地质层位, 识别多次波, 提高地震资料构造解释与岩性解释的可靠

性。它是地震资料人机联作解释的重要部分, 无论对地震勘探的理论研究, 还是指导生产都占有重要地位。

### 参考书目

姚兢等, 《地震勘探新技术与新方法》, 中国地质大学出版社, 1991。

(刘天放)

dizhi bianlu

**地质编录** (geological record) 把煤田地质勘探和煤矿生产建设过程所观察到的地质现象以及综合研究的结果, 用文字、图纸、表格等形式正确、系统地反映出来的工作。地质编录贯穿于煤田地质勘探的始终, 是一项极为重要的基础工作, 其成果直接供进一步勘查、煤矿设计和生产建设部门使用, 并作为国家重要地质矿产资料长期保存。煤田地质勘探编录按工作对象不同, 分为地质编录和技术经济编录; 按工作性质不同, 地质编录又可分为原始地质编录和综合地质分析。

**原始地质编录** 又称资料编录, 在煤田地质勘探和煤矿生产建设过程中, 对煤、岩层自然露头和各类勘探工程揭露的地质现象进行直接观测和描述的记录, 以及通过采样、化验、测试、鉴定、水文地质工作、物探工作等直接取得的有关原始数据、图件和文字记录。原始地质编录所获得的第一性地质资料, 它是进一步研究勘探区地质条件、成煤规律和评价煤炭资源的依据, 同时也是编制综合地质图件和提交地质报告的基础。为确保原始地质编录的质量, 编录时必须遵循真实客观、统一简明、系统全面和及时编录等基本原则。

地质工作的项目、研究对象、工程类型不同, 原始地质编录的内容、方法和格式要求也不同。煤田地质勘探和煤矿生产过程中的原始地质编录主要包括地质填图的原始地质编录、坑探工程地质编录、钻探工程地质编录、样品地质编录以及采矿工程巷道地质编录。

**坑探工程地质编录** 包括剥土 (BT)、探槽 (TC)、探井 (TJ)、斜井 (XJ)、平硐 (PD) 和小窑 (XY) 的地质编录, 其主要成果是工程素描图和相应的文字描述。

素描图的比例尺按地质条件的复杂程度和相应勘探阶段的地质任务选定, 一般为 1:50~1:500, 水平比例尺和垂直比例尺一致。有时为了更好地表示某些重要地质现象, 还可采用更大的比例尺。素描图除详细表示各种地质现象外, 还标注勘探区名称、工程名称及其编号、工程点坐标、比例尺、工程方位角、样品或标本的位置及其编号、样品分析结果、图例、素描人及检查人姓名和素描日期等。文字描述、标本及样品采集等

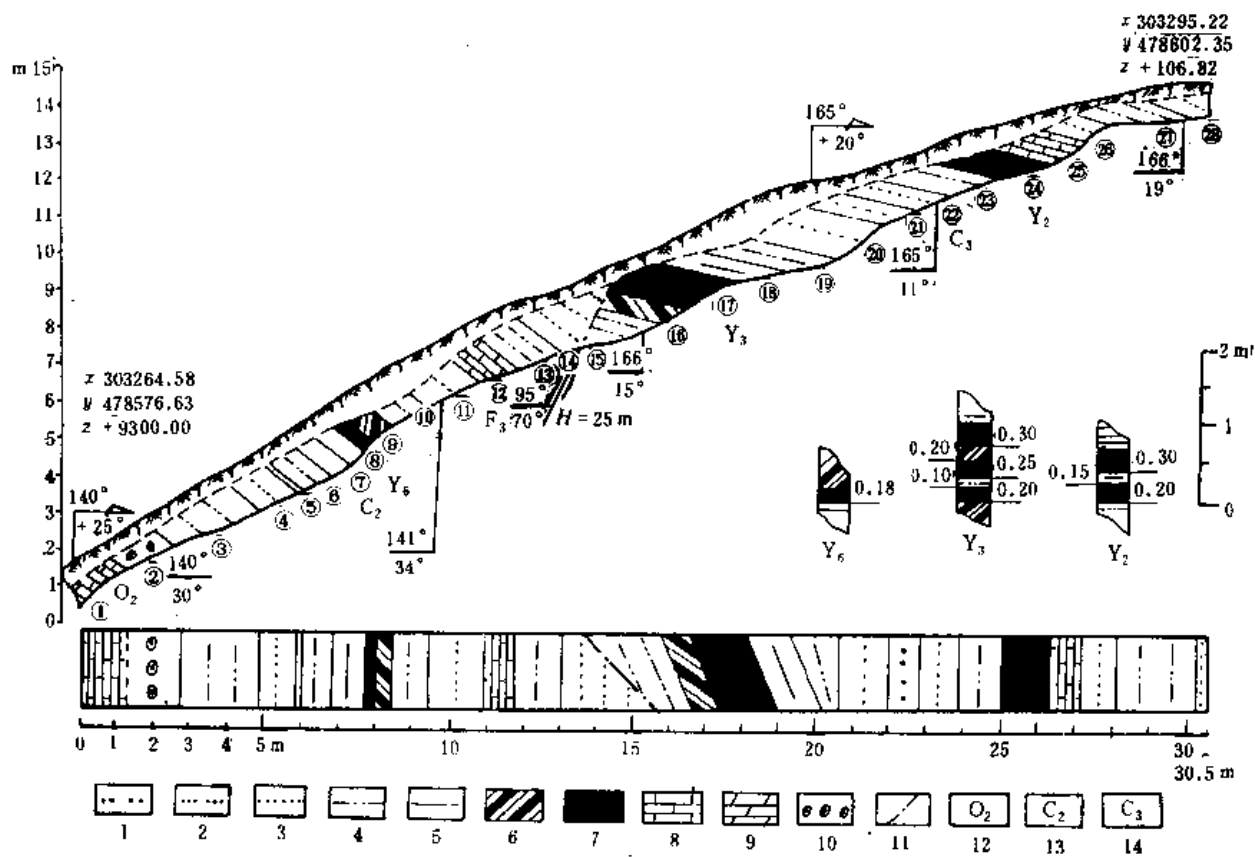


图1 探槽展开图

1—中粒砂岩；2—细粒砂岩；3—粉砂岩；4—砂质页岩；5—页岩；6—碳质页岩；7—煤；8—石灰岩；9—泥灰岩；  
10—铝土矿；11—断层；12—中奥陶统；13—中石炭统；14—上石炭统

内容，则分别记录在专门坑探工程地质记录表和采样登记表上。

**探槽地质编录** 探槽是在表土较薄地段，垂直地层走向或构造线方向挖掘的一条倒梯形的槽沟，其深度一般不超过3m。其地质编录在施工结束后及时进行，通常是沿一壁及槽底进行，绘制一壁、一底的展开图。地质条件简单时，可只作一壁素描，槽底通过投影求得；地质条件复杂时，则需绘制两壁、一底展开图。为便于在平面图上应用，探槽素描图中槽底长度多采用水平投影绘出，槽壁则按实际长度和坡度绘制。探槽作一壁测量时，一般南北向槽测西壁，东西向槽测北壁，东北向槽测北西壁，北西向槽测北东壁。当所测槽壁与勘探线剖面方向相吻合时，有利于地质资料的对比和利用。探槽野外测量，应按“探槽测量原始记录表”规定的要求进行详细的描述和记录，及时做好素描草图，必要时还要采集标本和样品。然后，在室内按照“探槽展开图图式”（图1）整理和清绘，上墨成图，并标注图名、比例尺、坐标、图例和责任图签，最后换算

出岩、煤层真厚度，绘制出探槽柱状图。

**探井地质编录** 探井是从地表向下沿铅垂方向掘进的一种深度和断面都较小的地质勘探坑道，其断面形状为正方形或矩形的称方探井；断面形状为圆形的称小圆井。探井的深度一般不超过20m，其地质编录随掘进过程及时地进行。

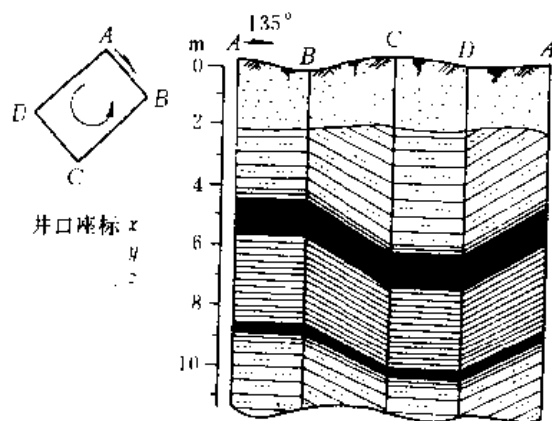


图2 方探井素描展开图



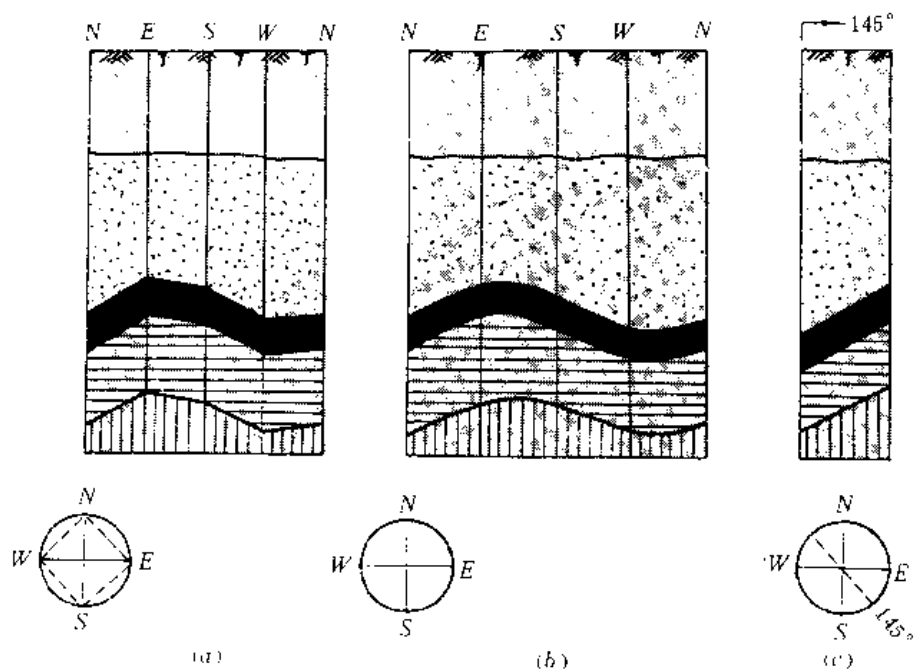


图3 小圆井素描图展开方法

a—正方形法；b—圆周法；c—剖面法

(1) 方探井地质编录。在地质构造简单，煤层变化不大的情况下，通常只作一壁素描图；当地质构造复杂或岩石松软、产状要素不易测量，煤层变化大的情况下，可作四壁素描展开图，将观测数据和地质描述内容逐项记录在“探井测量记录表”上。方探井一般采用四壁平行展开法绘制素描展开图（图2）。

(2) 小圆井地质编录。编录方法基本与方探井相似，只是在素描图的展开方法上有所差异。小圆井素描图的展开方法有正方形法（图3a）、圆周法（图3b）、剖面法（图3c）等三种。

探巷地质编录 探巷按掘进方式不同，可分为水平探巷和倾斜探巷。其地质编录方法各不相同。

(1) 水平探巷地质编录。与探槽编录方法相似，通常只作巷道一壁素描。地质条件复杂时，则编制两壁、一顶巷道展开图（图4），一般不给底板。穿层水平探巷素描图的展开方法有压顶法（图5a）、旋转法（图5b）、外展法（图5c）等三种。

(2) 倾斜探巷地质编录。倾斜探巷是沿煤层掘进的

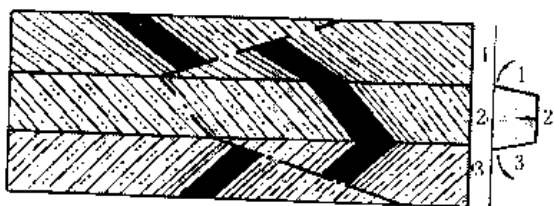


图4 两壁、一顶巷道展开图

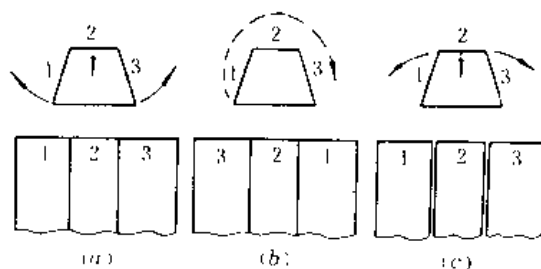


图5 探巷素描图展开方法

a—压顶法；b—旋转法；c—外展法

斜井或倾斜巷道，通常只作一壁素描。首先在斜巷一壁中腰挂上基准线，用罗盘量取其坡度角和方位角，然后每隔一定距离（一般5~10m）沿巷壁测量煤层厚度、结构及顶、底板岩性特征，同时测量煤层产状，并进行详细的地质描述，最后绘制素描图（图6）。

钻探工程地质编录 根据钻孔中取出的岩（煤）心、岩（煤）粉等实物资料和各种测量数据、测井资料，以及对钻孔中各种地质现象观察而进行。由于钻孔资料不如坑探工程和天然露头所见的那样完整和全面，又不能对钻孔进行直接观察，再加上钻探磨损及岩（煤）心采取率不易达到100%，因而对钻孔所获得的各种资料，更应力求详尽地进行观察、描述和记录。

内容与要求

(1) 岩（煤）心分层和岩（煤）心采取率的计算。

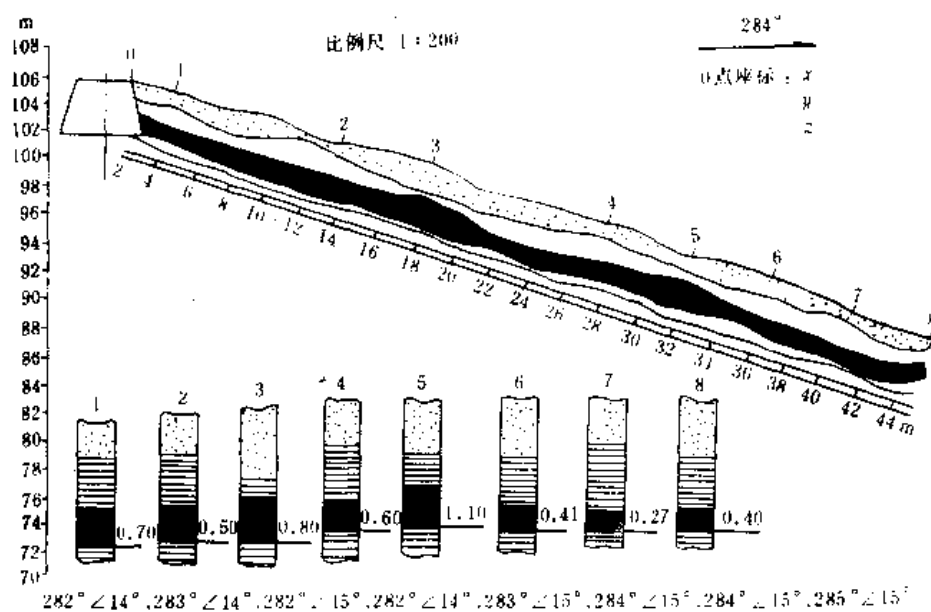


图6 倾斜巷道素描图  
地形地质图

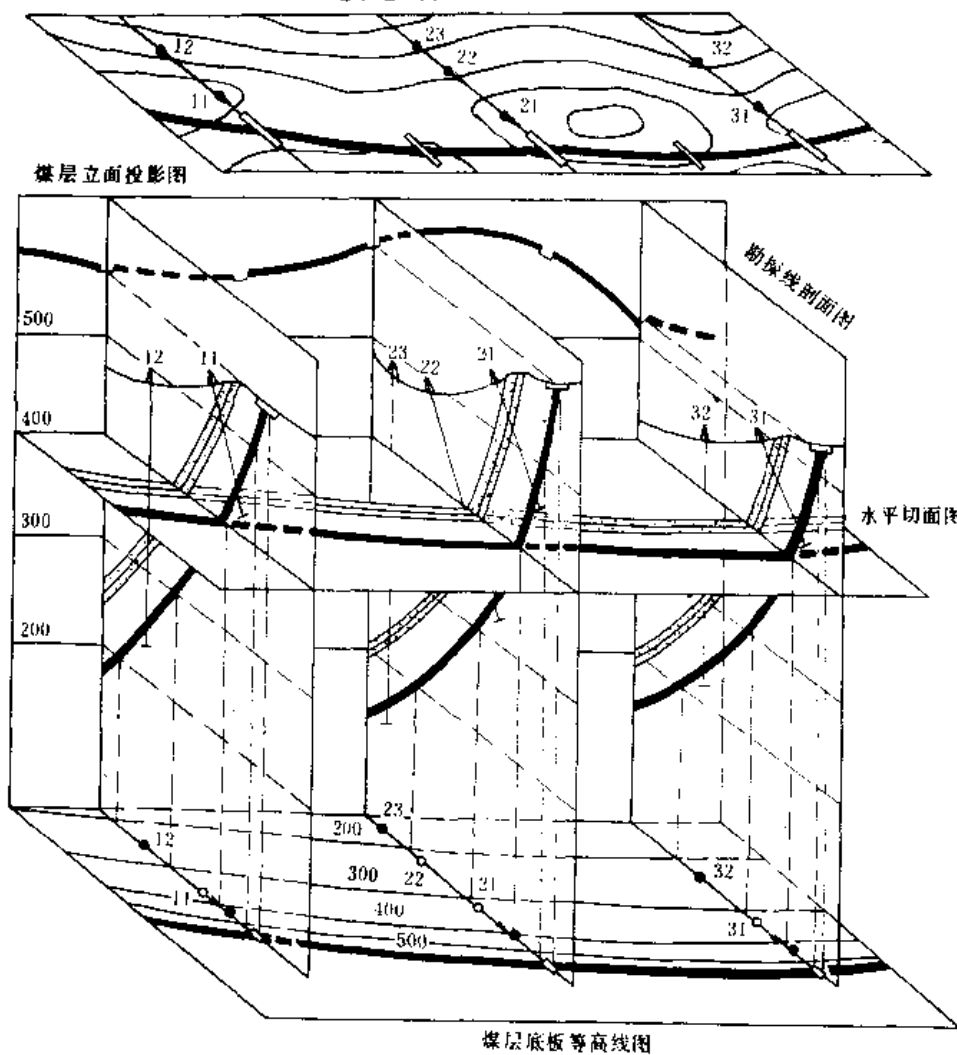


图7 煤田普查与勘探阶段各种主要地质图件关系示意图

(2) 岩(煤)层换层深度的计算。其方法有①直接获得;②通过分别计算不同回次、不同岩层采取率获得;③通过判层记录或测井资料间接获得。

(3) 岩(煤)心鉴定和描述。包括对岩(煤)心的岩性特征、岩相特征、构造特征、水文地质特征以及开采技术条件特征等方面的鉴定和描述。

(4) 岩层倾角的计算。根据岩心岩层倾角测量数据,通过计算法或查表法求得岩层倾角。

(5) 岩(煤)层真厚度的计算。

(6) 歪斜钻孔的计算与投影。按校正方法不同,分为图解法、计算法、校正网法、查表法;按投影原理不同,分为垂直投影法、走向投影法。最后填好“钻孔测斜记录表”和“孔斜计算成果表”。

**资料整理与评价** 钻探所取得的各项地质资料和数据,是评价煤炭资源的主要依据。在每个钻孔施工结束后,需做好钻孔地质资料的整理和评价工作,确定各项地质资料和数据的可信程度,供综合地质编录和提交地质报告时使用。

(1) 钻孔孔位、煤层、地层、地质构造、火成岩、简易水文、其它有益矿产、采样、测井、封孔及其它有关资料 and 数据的整理。

(2) 钻探与测井资料的综合解释。确定煤层厚度和见煤深度,在综合分析钻探和测井成果基础上择优选取;钻孔柱状的全孔解释和确定岩性,一般采用钻探成果。最后填写钻孔各见煤点综合质量评价表。

(3) 建立钻孔地质卡片,为综合地质编录、地质报告和储量计算提供可靠的地质资料和基本数据。

(4) 绘制钻孔综合地质柱状图。

**综合地质分析** 曾称地质资料的综合整理,又称综合地质研究,在煤田地质勘探和煤矿生产过程中,把所获得的各种原始地质资料和数据加以分析、研究和综合,然后用文字、图件、表格等形式表示出来的一项综合性研究工作。其成果可为进一步勘查、煤矿设计、建设和生产提供可靠的地质依据。综合地质编录的主要内容包括地质资料的综合审查与校对,各类综合地质图件的编制,各种综合表格的汇总以及各类文字报告的编写等。综合编录的图表必须遵循内容全面、数据可靠、编制正确、规格统一的原则;文字报告必须精练、重点突出、依据充分、结论明确。

**综合地质图件编制** 综合地质图件主要包括勘探区地形地质图附勘探工程布置图、岩煤层对比图、勘探区地质综合柱状图、勘探线剖面图、煤层底板等高线图或煤层立面投影图、煤层储量计算图、水平切面图等(图7)。

(1) 勘探区地形地质图附勘探工程布置图(见煤田

地质勘探基本图例)。

(2) 岩煤层对比图(见煤田地质勘探基本图例)。

(3) 煤层底板等高线及储量计算图。

(4) 各类地质报告的编制(见煤田地质勘探报告)。

(5) 各种综合表格的编制(见煤田地质勘探报告)。

(许友志)

## dizhi leidafa

### 地质雷达法 (geological radar method)

又称探地雷达法,借助发射天线定向发射的高频(10~1000MHz)短脉冲电磁波在地下传播,检测被地下地质体反射回来的信号或透射通过地质体的信号来探测地质目标的交流电法勘探方法。其工作原理类似于地震勘探法,也是基于研究波在地下的传播时间、传播速度与动力学特征。

**优点** 不需在地下埋置检波器,只需将发射天线对准探测地质目标,工作简便,勘探效率高,分辨率高,能探测出数米深度内20~30mm大小的地质目标的外貌。在低电导率(小于1mS/m)的地质体内,雷达法的探测深度可达50m,而在粘土、淤泥等导电岩(土)层及断层破碎带、遭受污染或盐分高的地下水中,其探测深度则减小到数米。

**发展概况** 雷达法长期用于探测大气圈和外部空间中的对象。20世纪60年代初,美国首先用装在飞机上的雷达探测格陵兰岛冰层。随后,于60年代后期又用地面探测雷达在盐矿、煤矿、石灰岩露天矿作试验研究。70年代初,美国研制出探地雷达仪器设备。80年代以来,这项研究发展迅速。目前,美国、瑞典、英国已研制出多种能在地面、矿井内、钻孔内使用的探地雷达仪,并采用了最新的数据处理技术。新仪器轻便,野外易于操作,能在困难条件下工作。

中国于20世纪80年代初开始研制地质雷达仪,先在煤矿系统地面与井下试验,效果良好。近年来,又引进与研制出多种新式地质雷达仪,已在煤矿井下勘探、工程地质勘探领域推广使用。

**工作原理** 雷达仪产生的高频窄脉冲电磁波通过天线定向往大地发射,其在大地的传播速度和衰减率取决于岩石的介电性和导电性,且对岩石类型的变化和裂隙含水情况非常敏感,在传播过程中,一旦遇到岩石导电特性变化,就可能使部分透射波反射。接收机检测反射信号或直接透射信号,将其放大并数字化,存储在数字磁带记录器上,备数据处理和显示。

地质雷达系统一般在10~1000MHz频率范围内工作,当传导介质的电导率小于100mS/m时,传播速度基本上保持常数,信号不会弥散。

地质雷达具有足够的穿透力和分辨能力。电磁波穿透深度主要取决于电磁波的频率、能量大小以及传导介质的导电特性。随着岩石含水量增大,电导率增高,雷达波的衰减率会增大。湿煤中的衰减率就比干煤的大。随着电磁波频率的增高,其穿透深度将减小,但降低频率或增大波长 $\lambda$ ,分辨率又会随之降低。为了能将探测目标与背景区分开,目标的大小应与波长成正比,最好为 $\lambda/4$ 。分辨能力还取决于岩体内隐藏目标的种类和大小及其导电特性。岩体与目标之间的导电特性差异越大,则越易发现目标。

据在许多地质环境中使用的经验表明,中心频率约为100MHz的雷达系统兼顾了测距、分辨率和系统轻便性这三个因素,效果较好。

**地质雷达仪** 地质雷达法用来进行野外观测的专用仪器,一般包括发射天线和发射机,接收天线和接收机,以及内装微处理机或直接使用便携式微机的控制部件。发射机将直流电源供给的直流电转换为高频、窄脉冲的交流信号,通过发射天线向被探测介质定向发射固定频率的电磁波。接收天线接收回波信号后输入到接收机,经放大并转换为数字信号后传输到控制部件进行叠加、计算、存贮,由液晶显示器实时显示断面图像,并可打印、拷贝。观测数据可存贮在软盘上,也可通过机内标准接口传输到外接计算机进行更详细的数据处理、彩色显示和绘制彩色断面图。为了同时进行不同深度的探测,提高施工效率,可以用一台发射机或多台接收机同时观测。最新仪器都配置多种频率的发射和接收天线,可根据不同地质任务和施工条件选用或作几种频率观测,取得更多的地质信息。

地质雷达按使用场合不同可分为空中地质雷达(又称机载地质雷达)、地面地质雷达、矿井地质雷达和钻孔地质雷达。其中,机载雷达是装在飞机上的地质雷达的总称,主要有侧视雷达、前视雷达、平面位置显示器雷达等,它具有快速覆盖和全天候工作的优点,主要用于测绘地形、地面岩性识别、判别地质构造特征等。煤炭工业部门常用的是地面地质雷达、矿井地质雷达和钻孔地质雷达。

**地面地质雷达** 在地面进行观测,是地质雷达中使用最多的一种方法。它用发射机和发射天线向地下发射高频电磁波,电磁波在地下土层、岩层中有明显电性差异的界面上反射,在地面用接收机和接收天线接收回波信号,并对其进行计算处理、解释、成图,得到地下地质结构的显示图象和深度资料。地面地质雷达测线、测点布置灵活,可根据需要布设成规则网状、不规则网状或任意单条剖面。既可逐点观测,也可沿剖面连续观测。

**矿井地质雷达** 具有防爆功能。在矿井巷道中进行观测。可以对巷道下方、上方、两侧及前方进行探测。向下方探测时,工作方法 with 地面观测相同。巷道有支架支护时,向上和向两侧探测的天线要特殊设置。向采掘前方探测是在巷道揭露的煤层或岩石断面上垂直布设发射天线和接收天线,可探测采掘前方的断层、岩溶及其它异常体。矿井中的干扰因素(各种电缆、金属物等)较多,现场观测时要尽可能避开或减少干扰源的影响,以提高信噪比。资料解释要正确区分有效信号和干扰信号,以保证地质解释结果的可靠性。

矿井地质雷达在煤矿区一般用于探测厚煤层采后的剩余厚度,煤层下面的石灰岩层或其它需要探测岩层的深度、喀斯特发育情况、巷道或工作面前方的小断层、老窑水、喀斯特陷落柱、火成岩岩墙、煤层夹矸和其它地质异常体。

**钻孔地质雷达** 把发射及接收装置放入钻孔中进行观测,有单孔测量和跨孔测量两种方式。①单孔测量。把发射和接收装置放于同一钻孔中,两者的间距保持不变,沿钻孔剖面进行测量。电磁波向钻孔壁介质发射,遇有电性差异的界面反射回来被接收,即可发现钻孔未揭露到的周围介质中的断层、破碎带、喀斯特、金属矿体等,并确定其距钻孔的位置、延伸方向。②跨孔测量。把发射装置和接收装置分别放入相邻两个钻孔中(也可采用一孔发射、多孔接收方式),雷达脉冲从发射钻孔传输到接收钻孔,通过对透射波传播速度、振幅等的分析,以及对反射波的分析,可以了解两个钻孔之间介质的地质结构和地质异常体的情况。跨孔地质雷达的工作方法与钻孔无线电透视法相似。

**方法** 地质雷达勘探方法可分为反射测深、共中心点(CMP)或广角反射折射(WARR)探测及透射测深等三种方法。

(1)反射测深法。把发射天线与接收天线按固定的排列形式配置,在地面移动,可获得各接收天线安置点处反映雷达反射层的垂直时距曲线。这种显示形式与地震反射法相似,根据信号在岩层中的传播速度,确定反射层的深度。传播速度应单独借助速度探测法获得,或根据地质柱状,由反射层深度与时间关系确定。

(2)共中心点法或广角反射折射法。是与地震折射法类似的电磁法,用于确定信号在岩层中的传播速度。让测点固定,改变天线间距,测量至反射层的双程旅行时的变化,估算雷达信号在地下传播速度与深度的关系。

(3)透射测深法。通常在矿井或钻孔中应用。常用于确定岩层中的信号传播速度与衰减特征,并用这些数据作为层析成像作图的依据。



其方法是,把一根天线固定放置在矿柱的一侧或一个钻孔内,而另一根天线放置在矿柱的另一侧或另一个钻孔中,测量时,沿固定天线所处位置上下移动。可用以确定岩层内传播速度,如果能测出信号振幅,就可确定衰减特征。

**应用** 地质雷达方法在地面应用时,多用作浅层工程地质勘探,用以划分第四系;探测冻土层厚度、地下水位;确定地下洞穴、管道、水坝渗漏位置及采空区范围。在露天煤矿勘探方面,可用于探测剥离层厚度及其结构,影响边坡稳定的薄弱层位,煤层中的小断层及夹石层,以及火成岩侵入体等。

一些国家正在利用井下地质雷达探测采掘前方的险情,包括断层、喀斯特洞穴和充水裂隙、采空区、喀斯特陷落柱及其它异常体等;测量巷道顶板残留煤层厚度;探查欲采盘区内的地质不连续性。英国、美国曾用它在矿井下测定煤层厚度;美国还用它测定巷道顶板的岩层,以便圈定煤层中的页岩夹层。

美国、澳大利亚等一些国家,正在试用孔间地质雷达探测孔间煤层连续性。它也可用于确定孔间的各种地质异常体,但要求孔距较短,目前尚难广泛应用。

(黄治平)

dizhi shuomingshu

**地质说明书** (geological description) 矿井地质部门为井下各项采掘工程设计、施工管理提供的地质依据。它是地质配合生产、服务生产的基本形式。根据矿井生产不同阶段的特点和对地质说明书的要求不同,地质说明书分为采区地质说明书、掘进地质说明书和回采地质说明书等三种。

**采区地质说明书** 在采区设计之前,为编制采区设计和指导采准巷道施工而提供的地质资料。有些矿称盘区地质说明书。它以煤炭资源勘探和矿井补充勘探报告为基础,结合开拓巷道和邻近采区的地质资料,按采区设计范围与施工要求编制而成。

采区地质说明书的主要内容是,阐述采区范围内的地质条件和开采技术条件,重点反映地质构造和火成岩分布、煤层厚度变化、水文地质条件、煤层顶底板物理力学性质、瓦斯状况、喀斯特陷落柱分布和可采储量等。它一般由文字说明及图件两部分组成。

**掘进地质说明书** 在开拓或采准巷道施工之前,为编制掘进作业规程和指导巷道施工而提供的地质预测资料。它以采区地质说明书为基础,结合邻近巷道和钻孔地质资料,按照巷道设计与施工的要求编写而成。

掘进地质说明书一般采用地质剖面图、水平切面图或煤层底板等高线图的形式,重点反映巷道所在岩

层的层位、岩性、厚度、产状、地质构造、水文地质及工程地质等内容。

为使地质更紧密地配合生产,把地质工作做到生产第一线,有些矿井在提交掘进地质说明书之后,还进行掘进地质预报,即在巷道掘进过程中,根据不断揭示的各种异常地质标志,对掘进前方的地质变化作出经常性的短期预报,以便施工人员及早采取有效措施,保证巷道掘进质量和安全地加快掘进速度。预报内容包括:断层、地层层位、岩性、水文地质、工程地质和瓦斯地质等。掘进地质预报是掘进地质说明书的继续和发展,其内容、形式更为灵活。

**回采地质说明书** 在回采巷道掘进完毕、投入采煤之前,为编制回采作业规程和指导采煤生产提供的地质资料。它以采煤工作面四周回采巷道的地质编录资料为依据,结合上部相邻煤层的开采资料编制而成。

回采地质说明书的主要内容是,阐述采煤工作面前方的断层、煤层不可采带、火成岩侵入体、河流冲蚀带、喀斯特陷落柱以及决定厚煤层分层回采的煤厚资料,危及生产安全的水、火、瓦斯及煤层顶底板情况,可采储量等。它一般采用简明扼要、重点突出的文字说明及图表形式。

为使地质更好地为煤炭开采服务,在提供回采地质说明书之后,在采煤工作面回采过程中,还要根据不断揭示的新地质资料,对回采前方的地质变化、发展趋势以及它们对回采工作的影响程度和范围,作出经常性的、短期的回采地质预报,以便采煤人员及时采取有效措施,保障回采任务的顺利完成。回采地质预报是回采地质说明书的继续和发展,其内容的针对性更强,方式也更加灵活。作好回采地质预报的关键是,加强对采煤工作面的地质调查,深入总结地质规律。

(龙荣生)

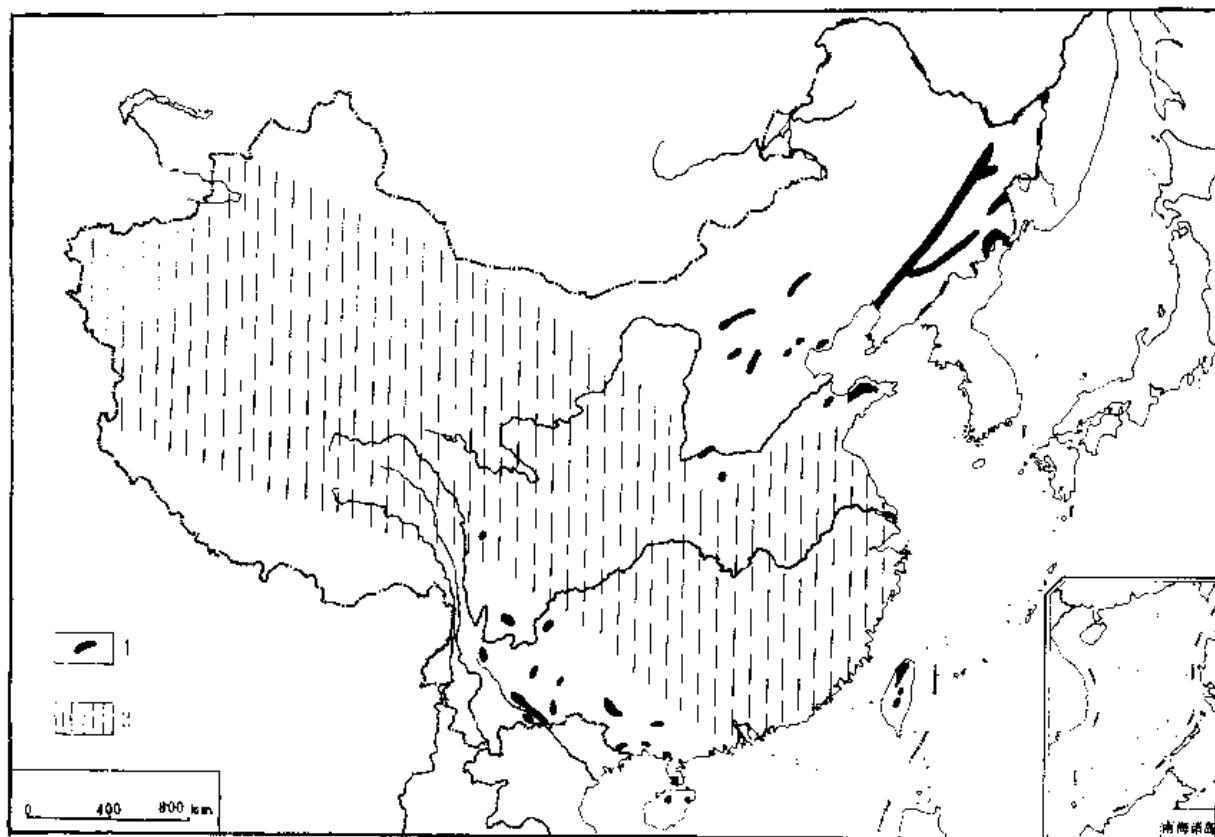
Disanji hanmeidiceng

**第三纪含煤地层** (Tertiary coal-bearing stratum)

地质年代最新的含煤地层,形成于距今约6500~164万年。该地层内除个别地区含烟煤外,一般均含褐煤层。其岩石固结程度低,部分为疏松泥砂。该地层在中国主要分布于东北-华北、云南-广西、台湾等三区,而中国中部到西北地区无此地层存在,皆被同期形成的红层所替代(下页图)。

**地层特征** 中国南、北方各有特色。

**北方** 中国辽、吉、黑、内蒙古东部及晋、冀、鲁、豫地区,第三纪含煤地层基本限于下第三系,另在吉、黑、内蒙古东及冀北等地,上新统玄武岩中亦夹含劣质薄煤层及部分砂、泥岩。该区下第三系普遍不整合于较



中国第三纪含煤地层分布略图

1—含煤地层；2—以红层为主的第三系分布区

老地层之上,且大多缺失古新统及始新统下部地层,各地的组名及对比关系如表1所示。下第三系主要由砂岩、泥岩、煤层等组成,碎屑岩以中、细粒为多,沉积韵律结构不明显;在辽、吉、黑,该地层下部常有火山岩及火山碎屑岩;在吉、辽、鲁,该地层中含油页岩,它经常位于煤层顶、底附近;晋、冀地区,该地层中常夹淡水灰岩薄层。该区下第三系总厚在1km以上,且常因断失而不完整。其含煤组主要位于始新统及渐新统下部。该地层内产出植物化石及介形虫、叶肢介、昆虫、鱼、龟及一些哺乳动物化石。植物化石以木本被子植物为主,裸子植物次之,以占城子组抚顺植物群为代表。

**南方** 中国云南、四川西部、贵州、广西、广东及海南,第三系普遍以不整合关系覆盖于较老地层之上。而在滇、桂一些中生代红盆内,第三系一般连续沉积于上白垩统之上。中国南方各地第三纪含煤地层的分组及对比关系见表2。该区古新统及始新统的果郎组、昌头组、铜鼓岭组等非含煤组,事实上均系红层;该区渐新统,部分地区始新统上部及上第三系都存在含煤组,一般均由陆相砂岩、泥岩、煤层组成,碎屑岩以细粒级

为主;在云南,还常夹硅藻土及淡水灰岩层;在两广地区,一般夹油页岩薄层。中国南方的第三系总厚均在1000m以上,含煤组在各地层位不尽相同,以云南上第三系为重要,有双河组、小龙潭组(中新统),昭通组、河头组(上新统)等。该地层中曾发现植物、轮藻、介形、腹足、双壳、两栖、爬行及哺乳等类化石。植物化石以被子植物为主,各地植物群落差别极大。

**台湾** (见台湾煤田)。

**形成条件** 包括古地理、古气候、古植物等。

**古地理** 中国第三纪古地理轮廓与现代基本相同。辽宁、山东、河南的下第三系形成于渤海附近;广东、海南、桂南的第三系则靠近海南,属滨海平原环境,原始沉积范围较大,沉积物延展比较稳定,常有油页岩与煤层伴生。吉、黑、内蒙古、晋、冀以及川、黔、滇、桂西等省区,第三系均沉积于内陆盆地中。其中,黔、滇、川的盆地,一般为侵蚀或溶蚀盆地,常居于地势很高的山区。这些内陆盆地中,第三系展布面积小,沉积韵律性差,常含有硅藻土和淡水灰岩,煤层往往比较厚。台湾在第三纪时为一地槽,晚第三纪早期处于由优地槽向冒地槽转化阶段,为滨海相沉积,复理石建造发

表1 中国北方早第三纪含煤地层对比表

地 层	冀 东	冀 西	晋 南	晋 西	豫 东	鲁 中	辽 中	吉 中	辽 东	吉林 三 河	吉 东	黑 龙 江	蒙 东
渐 新 世	渐 新 组	渐 新 组		十 里 堡 组	东 营 组		东 营 组						
始 新 世		武 山 组	魏 家 岭 组	魏 家 岭 组	沙 河 街 组		沙 河 街 组	安 安 组	安 安 组	安 安 组	安 安 组	安 安 组	安 安 组
古 新 世				尹 氏 组	尹 氏 组		尹 氏 组	尹 氏 组	尹 氏 组	尹 氏 组	尹 氏 组	尹 氏 组	尹 氏 组

\* 主要含煤组；· 次要含煤组。

表2 中国南方第三纪含煤地层对比表

地 层	川 西	滇 西	滇 东	贵州 西 部	广 西	广 东	海 南	广 东
渐 新 世	渐 新 组	渐 新 组	渐 新 组	渐 新 组	渐 新 组	渐 新 组	渐 新 组	渐 新 组
始 新 世	始 新 组	始 新 组	始 新 组	始 新 组	始 新 组	始 新 组	始 新 组	始 新 组
古 新 世	古 新 组	古 新 组	古 新 组	古 新 组	古 新 组	古 新 组	古 新 组	古 新 组

\* 主要含煤组；· 次要含煤组。

育, 岩层及煤层的单层厚度很薄, 但稳定性极好。

**古气候** 中国第三纪时总体上为干旱气候控制, 东北—华北地区的含煤地层是在第三纪的部分时段由境外潮湿气候带伸入中国的产物。而在云南—两广地区, 因受季节和地势影响, 含煤地层常表现出在层位、地区上有潮湿(形成黑色岩层)和干旱(形成红色岩层)的不同类型。

**古植物** 中国第三纪植物化石有被子、裸子和蕨类等, 而当时以木本的被子植物最为繁盛, 成为煤层的主要原始质料。著名的造煤植物群有: 抚顺植物群、景谷植物群、双河植物群、小龙潭植物群及三营植物群等。

(1) 抚顺植物群。化石采自辽宁抚顺古城子组, 包括被子植物 41 属 61 种、裸子植物 8 属 3 种、蕨类 4 属 4 种。其中约 2/3 为乔木, 约 1/3 为灌木, 草本、藤本少量。植物属中最最多的是杉科的 *Metasequoia* (水杉), 其次为双子叶植物的 *Cercidiphyllum* (连香树)、*Comptonia* (香蕨木)、*Alnus* (桤)、*Betula* (桦) 等。以落叶阔叶树为主, 还有一定数量的樟、桐、合欢、槲等热带与亚热带植物, 基本代表亚热带类型的植物群落。

(2) 景谷植物群。化石采自云南西南部景谷盆地的景谷组, 包括被子植物 25 属 32 种、裸子植物 2 属 2 种, 以乔木为主, *Quercus* (栎) 为此植物群落主体, 系常绿阔叶树, 代表偏热带的亚热带。

(3) 双河植物群。化石采自云南西部剑川县的双河组, 包括被子植物共 12 属 18 种, 以乔木为主, *Quercus* (栎) 和 *Dryophyllum* (槲叶) 为群落主体, 代表亚热带。

(4) 小龙潭植物群。化石采自云南东南部开远县的小龙潭组, 包括被子植物 16 属 16 种, 大部属乔木, 以落叶阔叶树为主, 其中最多的是 *Alangium aequatifolium* (等叶八角枫), 代表当时属地势较高的亚热带位置。

(5) 三营植物群。化石采自云南西北部洱源的三营组, 共 8 属 15 种以上, 以乔木为多, 最常见的是 *Quercus* (栎), 其中又以 *Quercus semicarpifolia* (高山栎) 最丰富。整个群落组成常绿阔叶林, 代表亚热带, 但地势较高。

**含煤情况** 在东北—华北区, 下第三系通常含煤层 1~5 层, 可采煤层总厚 10 余米, 以抚顺—沈阳一带煤层最厚, 最厚处达 160m, 其上并有百余米油页岩层。煤种除抚顺产粘结性烟煤外, 均为褐煤。云南—两广地区第三系中一般含煤层 1~5 层, 可采煤层总厚 10 余米至数十米, 以云南境内厚度最大, 在开远小龙潭最厚处可逾 200m, 而在云南昭通, 煤层厚度普遍为数十米,

因面积大而使其资源量达 10Gt, 成为中国最大的第三纪煤田(见昭通煤田)。该区煤种全属褐煤。在云南的第三系中, 常夹有厚层硅藻土层, 可资利用。台湾第三纪煤层很薄, 单层厚 0.3~0.6m, 可采煤层总厚 1m 左右, 煤种属粘结性烟煤。

(梅美棠 王煦曾)

Disiji hannitandiceng

**第四纪含泥炭地层** (Quaternary peat-bearing stratum)

由泥炭及砂、粉砂、粘土、亚粘土等岩土层所组成, 固结程度低, 岩性的地区差别大。其形成受不同气候、地质和地貌、构造等条件控制, 通常形成于湖盆、河谷和沟谷或滨海平原、潟湖等地貌类型中。地质时代主要属第四纪晚更新世晚期和全新世。第四纪约从 248 万年前至今。

**地层特征** 据泥炭赋存状态, 可分为含表露(裸露)泥炭地层和含埋藏泥炭地层两种, 前者由泥炭层及其下部沉积物所组成; 后者则可由泥炭层及其上、下部沉积物所组成。在中国, 全新世以含表露泥炭地层为主; 晚更新世晚期以含埋藏泥炭地层为主。

第四纪含泥炭地层具五个特征。

(1) 含泥炭地层形成地质时代较新, 主要形成于晚更新世和全新世。

(2) 含泥炭地层厚度较小。通常仅数米、十多米, 厚度大的可达数十米。一般含表露泥炭地层厚度较小, 含埋藏泥炭地层厚度较大。

(3) 岩性较简单, 粒度较细, 以砂、粉砂、粘土等碎屑沉积物为主。一般固结较差, 呈松散状或半固结状态; 颜色呈灰色、浅黑灰色等。

(4) 含泥炭层层数较少, 全新世含泥炭地层普遍产出 1~2 层泥炭; 晚更新世晚期含泥炭地层可产出 3~4 层泥炭。

(5) 含生物化石较丰富。在内陆湖盆环境下形成的含泥炭地层中, 常含螺、蚌壳等化石; 在滨海环境下形成的含泥炭地层中, 常有大量海相双壳类, 包括牡蛎(*Ostrea*)、蓝蛤(*Corbula*) 等。同时, 两者均含丰富孢粉。

**分布** 晚更新世晚期含泥炭地层主要分布于北纬 19°30'~47°、东经 98°30'~134°之间, 即中国云南、贵州、四川、广东、广西、海南、福建、湖北等省区的一些地区, 其中以云南、贵州、四川、广东等地的晚更新世晚期含泥炭地层发育较早、较全。全新世含泥炭地层主要分布于北纬 18°20'~53°30', 东经 80°~134°20'之间, 范围较前者大大扩展, 往北可至阿尔泰或大、小兴安岭北部, 南可至海南岛南端; 西至西藏或新疆西部,





东至黑龙江畔或东部沿海,几乎遍布全中国,但在内蒙古西部、准噶尔盆地、塔里木盆地、柴达木盆地未见含泥炭地层分布。

**典型剖面** 由于含泥炭地层形成的地质时代和沉积环境不同,各处地层差别大,难对比。有4个研究较详的剖面。

(1)广东遂溪下景圩晚更新世含泥炭地层剖面(由上至下):

- ①耕植层,褐黑色亚粘土、粘土层 厚 0.3~1.5m
  - ②泥炭层,上部褐黑色,下部为褐色,含少量腐木 厚 0.3~2.6m
  - ③泥炭层,主要为腐木层或灰黑色粘土夹腐木层 厚 0.4~4.6m
  - ④浅褐、灰白色中细粒石英砂岩,偶见 3~4mm 细砾石英 厚 0.6~2.4m
  - ⑤棕褐色、半纤维状或土状泥炭,局部夹有腐木 厚 0.2~14.3m
- 据<sup>14</sup>C测年为距今 34615±2465 年
- ⑥灰白、紫褐色粘土,含腐木,顶部夹薄层泥炭 厚 0.3~6.7m
  - ⑦灰、灰白色中细粒石英砂岩,含粘土质 厚 0.4~3.6m
  - ⑧灰白色中细粒石英砂岩 厚 0.5~2.6m
  - ⑨灰、灰白色含砾砂岩,含少量粒径 3~4mm 的细砾,局部为砂砾层 厚 1~2.3m

据<sup>14</sup>C测年资料,上列剖面属晚更新世晚期。依据该地层以细碎屑沉积为主;泥炭层(底部)具水域沼泽化特点,泥炭发育慈姑、萍、芦苇及藻(Cocconeis)等水生植物残体;泥炭层以不规则椭圆状分布,存在湖泊地貌景观,定为湖盆类型沉积。

(2)吉林辉南县金川全新世含泥炭地层剖面:

全新统

- ①腐植土或草根层 厚 0.2~0.5m
- ②泥炭层,主要由苔草—泥炭藓泥炭、苔草泥炭、芦苇—苔草泥炭、苔草—禾草泥炭组成 厚 9m

据<sup>14</sup>C测年,上部泥炭层距今 3060±95 年,底部泥炭层距今 6860±130 年。

- ③腐泥层,含炭质亚粘土 厚 0.9m
- ④青灰色泥质亚粘土及细砂、火山渣 厚 <0.4m

中更新统

大椅子山火山渣。粗、细火

山渣、火山弹及玄武岩集块 厚>0.6~4.8m

~~~~~不整合~~~~~

前震旦系

龙岗群 混合岩、混合花

岗岩 厚>900m

据<sup>14</sup>C测年资料,上列剖面属全新世中期产物。依据该地层底部有火山沉积物,地表残留火山口地貌;泥炭层底部发育腐泥层,反映存在水域沼泽化特征,定为火山口湖型沉积。

(3)黑龙江饶河县别拉洪河全新世含泥炭地层剖面(由上到下):

- ①草根层 厚 0~0.3m
- ②泥炭层,毛果苔草泥炭(0.4m);毛果苔草、镰刀藓、金发藓泥炭(0.5m),<sup>14</sup>C测年为距今 3075±70 年;木贼—苔草泥炭(0.2m);香蒲—木贼泥炭(0.2m),据<sup>14</sup>C测年为距今 4615±75 年 厚 1.3m
- ③粘土、亚粘上层 厚 0.5~5m
- ④中细砂、砂砾层 厚 2~15m

上列含泥炭地层为全新世中期形成,含泥炭地层的底板多为粘土、亚粘土,其下为砂和砂砾层,具有明显的二元结构。地貌上泥炭层沿河流蜿蜒分布,长达 57km,定为河漫滩型沉积。

(4)湖北利川县南坪野茶坝晚更新世晚期至全新世含泥炭地层剖面(由上到下):

全新统

- ①灰黑色亚粘土 厚 0.35m
  - ②褐黑色腐植土,含腐木、树桩 厚 0.6m
  - ③灰黄色粘,土含腐木 厚 0.7m
- 据<sup>14</sup>C测年为距今 7200±125 年
- ④淡棕红色粘土,含少量树桩 厚 0.8m
- 据<sup>14</sup>C测年为距今 9370±150 年
- 上更新统
- ⑤灰白色粘土 厚 0.4m
  - ⑥泥炭 厚 0.6m
- 据<sup>14</sup>C测年为距今 21555±530 年
- ⑦淡灰蓝色粘土,含 Abies、Picea、Pinus 等孢粉 厚 0.55m
  - ⑧淡灰蓝色亚粘土 厚 0.7m
  - ⑨浅灰蓝色角砾状细砾石层 厚 0.7m

~~~~~不整合~~~~~

中三叠统

巴东组 页岩夹灰岩

据<sup>14</sup>C测年,含泥炭地层为晚更新世晚期至全新世沉积。依据其所处地貌部位是齐跃山山前的低洼地,泥炭层在平面上呈不规则的树枝状,泥炭顶底板及夹



层为近源沉积物,主要来源于附近三叠纪岩系风化产物,沉积环境定为山前洋地型。

(尹善春)

diancejing

**电测井** (electrical logging) 研究钻孔中岩层间电学或电化学性质差异为基础的一组地球物理勘探方法的总称。它在所有测井方法中发展最早,理论与实践也较成熟。煤田地质勘探中应用的电测井,一般使用由一个或多个电极组成的电极系,放置在充有导电冲洗液的裸孔中进行测量。按照使用的场源,电测井可分为自然电场测井与人工电场测井两类。前者不用人工向钻孔供电,测量由煤、岩层的电学性质产生的自然电场分布,在煤田地质勘探中常用的有自然电位测井和电极电位测井;后者则是人工向钻孔供直流或交流电,测量在煤、岩层影响下的人工电场分布,在煤田地质勘探中常用的有视电阻率测井、接地电阻测井、侧向测井、感应测井、激发极化测井等。根据电测井资料,可以识别钻孔剖面上的岩性,划分剖面,识别煤层结构,计算岩石孔隙度和煤层各主要成分含量,研究地质构造和沉积环境特征。

电测井是煤田测井中最重要的方法之一,其发展趋势是通过消除和校正各种影响因素,提高测量精度,获得煤、岩层的真电学参数;研究将其它电测井方法用于煤田地质勘探,并开发新的电测井方法,以提高其解决煤田地质问题的能力。

**自然电位测井** 沿钻孔剖面测量岩、煤层在自然条件下产生的电场电位的变化的一种电测井方法。即在钻孔中放置一个测量电极,在地面放置一个比较电极,测量钻孔中电极由于煤、岩层内液体与冲洗液引起的扩散及扩散吸附,过滤和氧化还原等电学作用而产生的自然电位。多数煤层,特别是无烟煤煤层的氧化还原作用会造成较高的自然电位。渗透性岩石因冲洗液与岩石内液体存在矿化度与压力的差异,也能产生自然电位。一般岩石颗粒变细,泥质含量增加,渗透性变差,孔隙度变小,自然电位都会降低。

自然电位测井曲线对于目的层中心呈对称形态,其曲线幅度的半幅点处对应目的层界面。若将地面比较电极也与测量电极一起下入孔内并相距一个很小距离时,则测得的成果是自然电位沿孔轴的变化率,这一方法称为自然电位梯度测井。

**电极电位测井** 电极系由一个能与孔壁接触的刷状金属电极和分别位于其上、下的两个比较电极构成,用以测量孔内电子导体电极电位特性的一种测井方法。电极电位的大小,既与刷状电极和比较电极采用的

金属种类有关,又取决于刷状电极所接触电子导体的性质。由于含煤岩系中的无烟煤煤层接近于电子导体,其上、下围岩又多为离子导电型岩石,因而在电极电位测井曲线上,无烟煤煤层往往显示大幅度的异常,根据这一特性,能有效地识别无烟煤煤层。

**视电阻率测井** 测量钻孔剖面上煤层和岩层电阻率的一种测井方法。其测量装置通常由一对供电电极 A、B 和一对测量电极 M、N 组成,并由其中 2~3 个电极组成一定排列的电极系,用电缆下入孔内。电极系上可构成成对的电极(供电电极或测量电极)称成对电极,而只能与地面电极构成成对的电极则称不成对电极。电极系根据其电极排列可分为电位电极系和梯度电极系。

均匀介质的电阻率  $\rho$  为

$$\rho = K \frac{\Delta U}{I} \quad (\Omega m)$$

式中  $\Delta U$  为测量电极 M、N 间的电位差;  $I$  为供电电极 A、B 间的电流强度;  $K$  为装置系数,即与电极系电极排列有关的常数。对于非均匀介质,用此式求出的电阻率,则反映了该非均匀体的等效电阻率,它受诸多因素的影响,称视电阻率  $\rho_v$  (见电阻率法)。

各种煤层、岩层的电阻率存在程度不同的差异。通常烟煤的电阻率很高,无烟煤的电阻率很低,它们都易于与其它岩石区分。砂岩、泥岩,一般颗粒越细,电阻率越低。著名的阿尔奇 (Archie) 公式表明,电阻率还与岩石的孔隙度密切相关。

$$R_o/R_w = a\phi^m$$

式中  $R_o$ 、 $R_w$  分别为孔隙饱和含水岩层的电阻率和岩层中水的电阻率;  $\phi$  为岩石孔隙度;  $a$  为胶结系数;  $m$  为比例常数。

视电阻率测井在煤田地质勘探中广泛用于识别煤层,对比岩层和分析沉积环境,与其它测井方法相结合,还用以分析煤层灰分、水分和碳含量。

**电位电极系测井** 使用电位电极系的一种电阻率测井方法。其测量结果与测量点的电位成正比。电位电极系是一种在各电极间的距离中,成对电极间的距离不是最小的电极系(图 1)。由 A、M 两个电极组成的电极系,称为理想电位电极系。用电位电极系测得的视电阻率曲线对于目的层中心呈对称形态。在没有其它影响因素的理想条件下,目的层中心的视电阻率测量值,反映了该岩层的真电阻率值。高阻岩层界面的位置,对应于视电阻率曲线幅度的起跳处(根部)(图 2)。

**梯度电极系测井** 用梯度电极系的一种电阻率测井方法。其结果与测量点的电位梯度成正比。该电极系

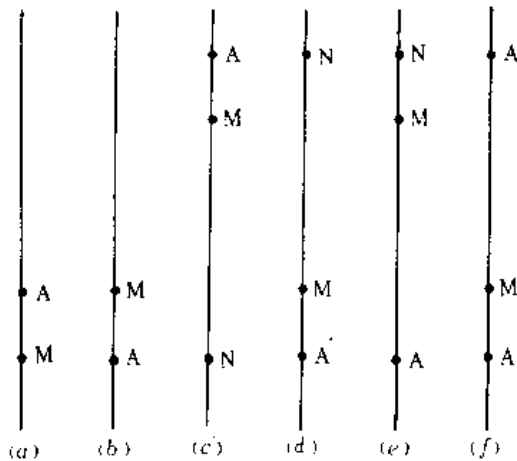


图1 视电阻率测井的电极系

a、b—理想电位电极系；c、d—电位电极系；  
e—顶部梯度电极系；f—底部梯度电极系

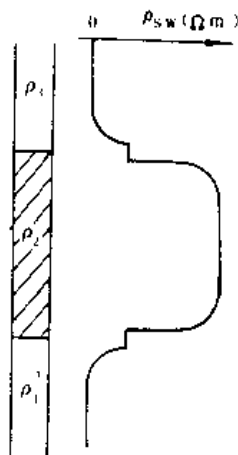


图2 电位电极系视电阻率曲线

$\rho_1$ 、 $\rho_2$ 、 $\rho_3$ —分别为上、中、下3个相邻岩层的视电阻率

的特点是在各电极间的距离中，以成对电极间的距离为最小（见图1）。①成对电极位于不成对电极上方时，称顶部梯度电极系。②成对电极位于不成对电极下方时，称底部梯度电极系。用该法测得的视电阻率曲线，在目的层处呈不对称形态：对于高电阻率目的层，用顶部梯度电极系测得的目的层视电阻率极大值在该层顶界面处出现，用底部梯度电极系测得的目的层视电阻率极大值，在该层底界面处出现，而在另一界面处则出现目的层视电阻率极小值（图3）。

**接地电阻测井** 电极系只由供电电极构成的一种电阻率测井方法。它可测量由于电极在钻孔中与岩层接地电阻的变化而造成的供电电流变化，因而又称电流法测井。当只用一个供电电极下入孔内测量时，则称单点电阻法测井。①当在入孔供电电极上、下方各放置一个同极性的圆柱状电流屏蔽电极，用以减小或消除

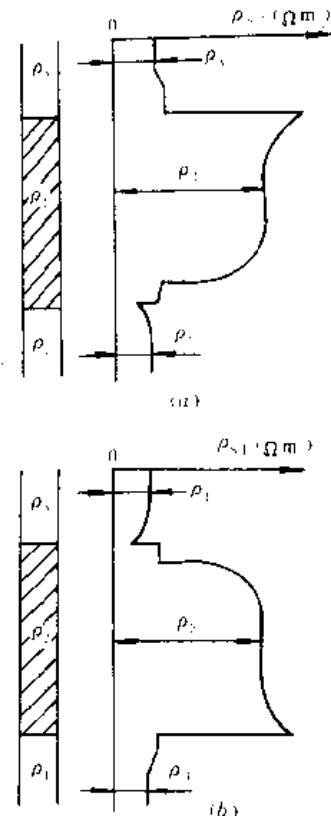


图3 梯度电极系视电阻率曲线形态

a—顶部梯度电极系曲线；b—底部梯度电极系曲线

沿孔轴方向的电流时，则称三电极屏蔽电流测井。②当将两个同极性电极下入孔内，通过电桥测量两电极间接地电阻的差异时，称接地电阻梯度测井或接地电阻差值测井。其分层能力较强，易于识别岩层界面，但其受各种因素影响，较难校正，难以用作定量解释。

**侧向测井** 电极系上安置有各种屏蔽电极的一种电阻率测井方法。屏蔽电极的作用是迫使供电电流垂直孔轴流入岩层，以提高测井的垂向分层能力，增大测井的探测深度。①当电极系由中心电极与上、下两个柱状屏蔽电极组成时，称三侧向测井。②当电极系由中心电极、一对屏蔽电极与两对监督电极组成，以抑制孔中沿孔轴方向流动的电流时，称七侧向测井（图4）。通过选择屏蔽电极的不同距离、长度和电流返回电极B的远近，可调整测井的探测深度。根据探测深度的不同大小，侧向测井又可分成深、中、浅、微侧向测井（见图4）。在作浅侧向测井供电时， $A_2$ 为反极性的供电电流返回电极B，主电极电流流入岩层（图4中阴影部分）后不远就开始发散，其探测深度较浅。在作深侧向测井供电时， $A_2$ 与 $A_1$ 短接，共同作屏蔽电极，主电极电流可较深地流入岩层而不发散，探测深度较大。深侧向测井视电阻率值主要反映岩层的真电阻率；而浅侧向测井则更多地反映岩层被冲洗液浸入后的电阻率

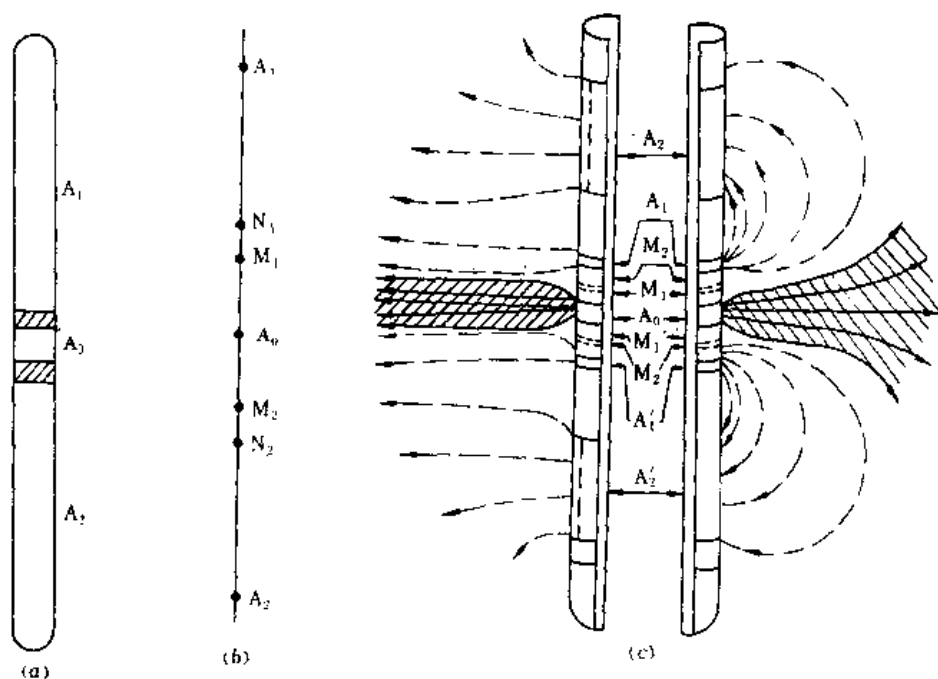


图4 侧向测井电极系

$a$ —三侧向电极系； $b$ —七侧向电极系； $c$ —深、浅侧向电极系及其电流线示意图； $A_0$ —中心供电主电极； $M_1$ 、 $M_2$ —监督电极； $A_1$ 、 $A_2$ —与  $A_0$  同极性屏蔽电极

值。该测井法利于判断岩层渗透性、岩层内流体的性质和煤层中的含气情况。中国煤田地质勘探中广泛开展三侧向测井，深、浅侧向测井也有所应用。

**井液电阻率测井** 用专门的电极系测量钻孔内液体的电阻率沿孔深变化的一种电阻率测井方法。孔内液体电阻率数据对消除其对电阻率测井成果的影响，有重要作用。在确定含水层位置、水文地质参数、地下水运动状态以及解决检查孔内漏水(或井水)位置等一些水文地质问题方面，井液电阻率测井更有重要的作用(见水文地质物探)。

**激发极化测井** 测量岩石、矿石在人工电场作用下产生的激发极化电场的一种测井方法。它是在人工向岩石供电一段时间后，测量断电后岩石产生的激发极化电位或极化率。煤层及含金属矿物的岩石，通常能产生较强的激发极化电位。此法常用于识别煤层以及估计煤层中黄铁矿等矿物的含量(见激发极化法)。

(刘家瑾)

dianfa kantan ziliao dizhi jieshi

**电法勘探资料地质解释** (geological interpretation of electrical prospecting data)

通过综合分析电法勘探中野外实测和转换计算得到的各种电性数据以及据此绘制的各种电性图件，将电法勘探电性资料转化成反映地质特征资料的研究工作。这种

解释是间接的。影响电法资料解释的因素较多，地质推断往往具有多解性。提高地质解释可靠性的关键是充分利用各种已有地质资料，建立工作区地质体特征与实测电法数据的比拟关系，从多方面减少多解性。

影响电法勘探观测值的主要天然因素，除了探测对象本身的电性外，还有地质体的体积效应、岩层的各向异性和地形起伏等。

(1) 体积效应。电法勘探的观测值是地下一定体积范围内岩层电性的综合反映，而不是某单一岩层的电性特征，即包含了探测对象的围岩所施加的影响，从而导致了电法勘探资料解释的复杂性和多解性，影响解释精度。

(2) 各向异性。含煤岩系沉积岩岩层的电阻率等电性参数随观测的方向不同而有差异。在电法勘探区内一般要作一定比例的十字测深，了解不同观测方向岩层电阻率的差异及其变化规律，供资料解释参考。

(3) 地形起伏。地面电法勘探理论的前提之一是把地面假想为水平面，当地形起伏较大时，地形对电法观测值有明显影响，应采用作过地形校正后的数据进行地质解释。

**解释原则** 可归纳为由已知到未知、由简单到复杂和定性定量结合三个原则。

(1) 由已知到未知。这是最基本的原则。其实质是，以与工作区地质剖面相同或相似地区的实测地电断面

的地质电性特征,作为解释整个工作区的电法勘探资料的依据或参考,或将测线延伸到邻近的地层露头或已知钻孔上,以此作为已知部分引入工作区。在了解已知区或地段的资料时,应注意①电性分界面和地质分界面发生差异的原因;②不同地质断面所反映电性曲线类型相似的原因;③岩性不均一和岩相渐变等因素所导致的曲线类型复杂变化特征。只要掌握了已知地段的典型曲线以及上述特点和变化规律,就能较可靠地解释未知地段的电法勘探曲线,推断地质情况。

(2)由简单到复杂。从已知地段探索出地电断面规律和解释方法后,优先选择地形平坦,岩层和构造比较简单,岩层电性差异明显,野外观测资料精度高,且能与已知地段连续对比的测线进行解释,这样,较易获得可靠的成果。在此基础上,再重点突破复杂地段的解释。

(3)定性与定量相结合。定性解释是确定电性层与岩层的对应关系;推断岩层倾向、褶曲、断层或其它探测对象的位置、分布范围等。定量解释是确定各电性层的深度、厚度和电性参数。定量解释一般是在定性解释的基础上进行。在解释过程中,两者互相验证,最终得出统一的成果。

**解释方法** 包括建立电性层与岩层对应关系、分析实测曲线特征、剖面和平面对比、定量解释等。

(1)建立电性层与岩层的对应关系。这是电法资料地质解释的依据。其基本方法是,①利用同一测线上钻孔的电测井资料,统计分析不同岩层的电性参数,找出它们的对应关系;②在已有钻孔附近进行电法勘探试

验,了解已知地质剖面的电性反映特征;③在工作区内或工作区附近的岩层露头处,进行小极距的电测深或电剖面勘探,了解不同岩层的电性特征;④借鉴地质条件、电性条件相近的已知区的电法勘探成果;⑤由于地质条件往往复杂多变,为减少电法资料的多解性,电法测线要尽可能穿过已知钻孔并与岩层露头衔接。

通过上述多种方法,尽可能多地取得已知地质情况下的电性特征和参数,进行综合分析,建立起全面反映工作区岩层与电性层的对应关系,为解释工作奠定可靠基础。

(2)分析实测曲线特征。分析野外实测曲线的特征,要充分利用并综合已有的地质、物探资料和已知的岩层电性关系,充分考虑各种因素的影响及其特点,先要把非地质构造因素造成曲线的畸变分开,再根据工作区地质特点预料各种地质因素的影响,以减少地质解释的多解性。这项分析,可针对有代表性的测点和测线,借助微机进行正演和反演计算。对于电阻率测深曲线、频率测深曲线,要注意研究其极大点、极小点、转折点等各种特征点的位置,曲线下降和上升角度,视电阻率值等特征与地电断面变化或构造影响的关系,作为解释的依据,正确确定测深曲线的类型后,构制曲线类型分布平面图,研究不同曲线类型分布特征及其与地质结构的关系。

(3)剖面和平面对比。对于各种测深法,可用实测曲线制作各种等视电阻率 $\rho_s$ 剖面图(图1)和平面图(图2)。一般每一个主要电性层绘制一张等 $\rho_s$ 平面图。还可根据实际需要制作极小点、极大点或其它特征点

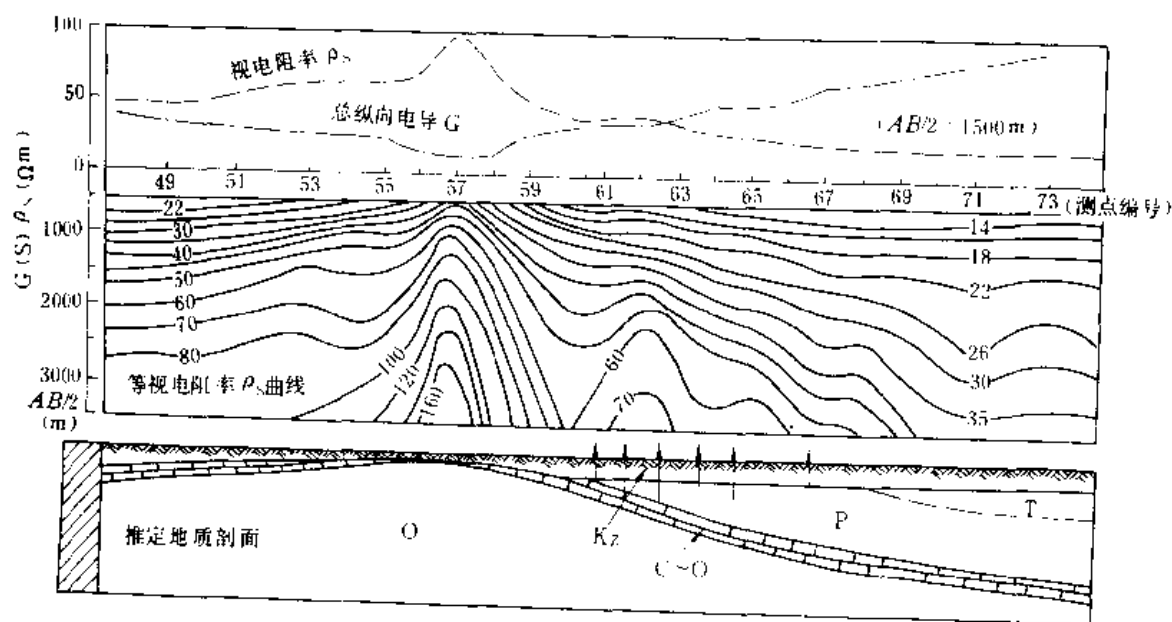
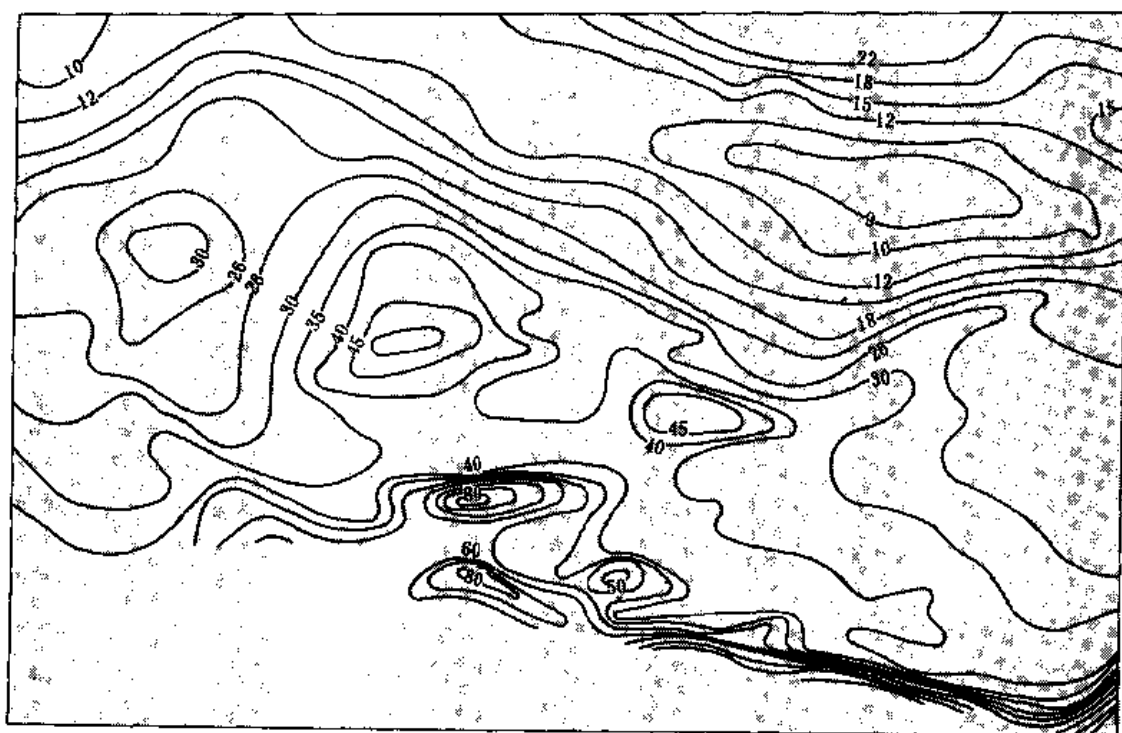
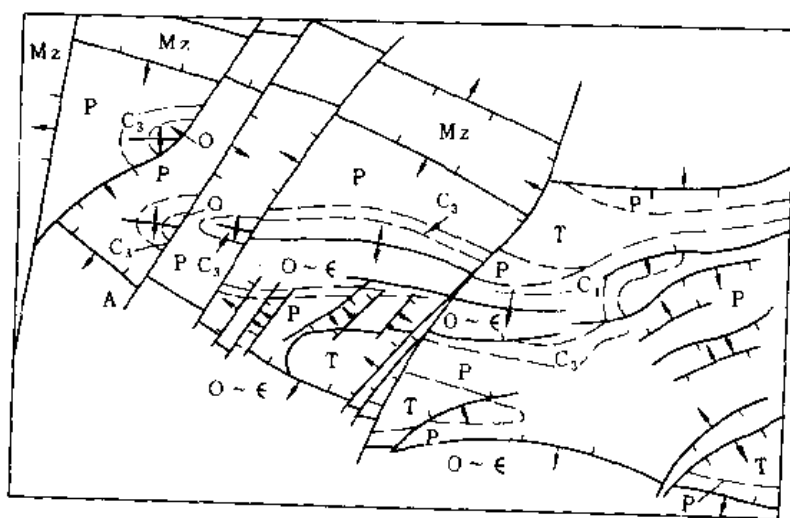


图1 中国统北某煤田等视电阻率 $\rho_s$ 断面图  
(据《煤田电法勘探》, 1976修改)



(a) 等视电阻率平面图



(b) 相应推定基岩地质图

图2 中国皖北某煤田等视电阻率  $\rho_s$  平面图 (a) 及其相应推定基岩地质图 (b)

(据《中国煤田地球物理勘探》，1981修改)

的等值线图。对于各种电剖面法,要绘制该剖面的由实测电性曲线和地质解释构成的电性-地质综合剖面图,并在有测线位置的平面图上。

根据电性断面图可定性解释不同电性层所对应的岩层及其沿测线剖面的起伏形态,褶曲和断层的位置,含煤岩系或含水层的分布范围,新地层的厚度变化以及岩性的横向变化,估计各地层埋藏深度等。再把各个断面图的解释结果放在平面图上进行对比、连接,进

一步检验各测线断面图地质解释的正确性。

等视电阻率  $\rho_s$  平面图主要反映各电性层在平面上的起伏形态、褶曲和断层位置、含煤岩系或含水层的分布范围、含煤岩系基底的起伏形态等。小极距的平面图还能反映含煤岩系上覆岩层或新地层的构造特征。

(4) 定量解释。对单个测深曲线借助人或计算机用正、反演方法解释各电性层的电性参数、厚度和深



度。通常,定量解释首先在钻孔等已知点旁的测深曲线上进行,以确定电性层与岩层对应关系,还可用已知资料检验解释的可靠性和精度,帮助正确选择解释参数。然后,再选择电性层次明显、曲线类型较简单的测点进行定量解释。这项工作贯穿整个解释过程。定量解释成果要与定性解释结果互相验证。

定量解释在已知点上要尽可能多用几种方法进行,以选择最适合全区的方法。用微机反演拟合解释需注意正确判定曲线类型,选好初始参数值,考虑到等值原理可能带来的错误结果。

**计算机应用** 电法观测数据的管理、处理、成图,现已普遍使用微型计算机。野外观测数据可以按一定格式存入微机 and 软盘,长期保存。借助微机可自动显示、打印野外原始数据和实测曲线。测深曲线的定量解释普遍使用一维正演和反演解释程序,据设定的层参数值能很快计算出相应的正演曲线,并用反演程序对测深曲线进行分层定量解释,得出各电性层的厚度、电参数成果。现已研究出电阻率测深法、频率测深法二维正演和反演的计算程序,校正地形影响程序。电法勘探成果中的各种等值线图,已可用微机 and 小型绘图仪绘制。一些国家新开发的电法资料处理解释工作站,可通过人机联作进行地质解释,显示并绘制解释成果的彩色剖面图、彩色立体图等。

(黄治平)

dianzulüfa

**电阻率法** (resistivity method) 利用地壳中不同岩石间导电性(以电阻率表示)的差异,通过观测与研究在地下人工建立的稳定电流场的分布规律,来寻找煤和其它有益矿产和地下水,以及解决有关地质问题的一种电法勘探方法。电阻率法是电法勘探中研究应用最早、使用最广泛的方法。早在 20 世纪 20 年代,法国 C. 施伦贝格和 M. 施伦贝格(C. & M. Schlumberger)兄弟首先研究和试验了这一方法。后来,随着仪器的不断更新,方法理论和技术的不完善,逐渐衍生出多种分支方法在世界很多国家的众多领域内得到广泛应用。

中国早在 20 世纪 40 年代初就曾试用电阻率法。50 年代中期在全国各工业部门普遍应用,在寻找石油、天然气、煤炭、金属矿产和地下水等方面取得了大量地质成果和明显的经济效益。目前,野外观测已较普遍使用带微处理机的数字电法仪,用计算机处理观测数据和绘图,电阻率法在解决地质问题的可靠性和精度方面都有明显提高。

**岩石电阻率** 电流垂直通过单位截面积、单位长

度岩石时所受阻力的的大小,表示岩石导电能力的参数,以  $\rho$  表示,单位为  $\Omega\text{m}$ 。影响岩石电阻率的因素很多,其内部因素包括岩石的矿物组分、颗粒形状、结构、胶结物以及岩石的孔隙度、裂隙度及含水情况等;外部因素包括岩石的温度和所承受压力以及观测时的供电频率等,当外部条件差异不大时,内部因素起主要作用。

岩石可分为电子导体和离子导体两类。①电子导体类的岩石,其电阻率主要决定于岩石的矿物组分、颗粒形状、排列形式及裂隙发育程度。岩石中良导电矿物含量越多,岩石电阻率越接近良导电矿物的电阻率。特别是良导电矿物在岩石中互相连通时,即使含量不多,岩石电阻率也接近良导电矿物的电阻率。相反,良导电矿物含量虽然较多,但被不良导电矿物包围隔绝,则岩石的电阻率将主要决定于不良导电矿物的电阻率。某些地区的烟煤中含有大量黄铁矿结核,虽然黄铁矿电阻率很低,但是由于它们呈孤立的包裹体形式赋存,并未使烟煤的电阻率显著降低。火成岩及其变质岩都是电子导体类岩石。电子导体类岩石中的裂隙常常被地下水、泥质充填物等良导电物质充填,使岩石电阻率降低。②离子导体类岩石。主要由岩石中所含水溶液内的带电荷离子传导电流,大部分沉积岩都属于此类,其电阻率主要决定于岩石的孔隙度、裂隙度及孔隙、裂隙中含水的多少和水的含盐度(即矿化度),而与组成岩石的矿物种类关系不大。孔隙、裂隙度越大,喀斯特越发育,含水量越多,水的矿化度越高,则岩石的电阻率越低;反之则电阻率越高。这是用电阻率法区分不同沉积岩,寻找沉积矿产和地下水,研究喀斯特发育情况和寻找固结岩层中裂隙带或断裂带的物质基础。

岩石的电阻率还随地温的增高和所承受压力的增大而降低。目前,这两种因素在实际工作中较少考虑。由于岩石成分和结构的不均一性,特别是砂岩、泥岩、板岩、片岩以及煤等成层状的岩石和沉积矿产,在沿岩层走向、倾向和垂向测得的电阻率值一般都不相同,这种性质称为岩石电阻率的各向异性(或称非各向同性)。这种特性在实际工作中对电法资料的地质解释影响较大。

岩石电阻率一般以火成岩最高,沉积岩相对较低(石灰岩、白云岩较高),变质岩的电阻率介于两者之间,并与变质前原来岩石的电阻率大小有密切关系。煤及煤系常见岩石的电阻率值大体如下页表所示。

电阻率法观测到的实际不是单个岩层的真电阻率,而是在地下一一定空间范围内多种具不同导电性的岩层电阻率的综合值称为视电阻率  $\rho_s$ , 其单位为  $\Omega\text{m}$ 。

**工作方法** 电阻率法工作原理如图 1 所示,在地

煤及煤系常见岩石电阻率一览表

| 岩 石 | 电阻率<br>( $\Omega\text{m}$ ) | 岩 石  | 电阻率<br>( $\Omega\text{m}$ )           |
|-----|-----------------------------|------|---------------------------------------|
| 砂 岩 | $1 \sim 5 \times 10^2$      | 无烟煤  | $1 \times 10^{-2} \sim 2 \times 10^2$ |
| 页岩  | $20 \sim 2 \times 10^3$     | 褐煤   | $4.5 \times 10^2$                     |
| 石灰岩 | $30 \sim 1 \times 10^3$     | 干泥炭层 | $1.1 \times 10^3$                     |
| 煤 层 | $9 \sim 200$                | 粗玄岩  | $20 \sim 5 \times 10^3$               |
| 板 岩 | $0.5 \sim 1 \times 10^3$    | 片 岩  | $20 \sim 1 \times 10^3$               |

(摘自: Thomas, 《实用地质手册》, 1992)

面打入两个或两组铁质的供电电极 A、B, 用于电池或蓄电池作供电电源向地下供电, 在地下建立稳定电流场, 用仪器观测出供电电流强度  $I$ , 再将两个或两组铜质测量电极 M、N 打入地面, 并观测 M、N 两电极之间的电位差  $\Delta V$ , 并按公式  $\rho_s = K \frac{\Delta V}{I}$  计算出 M、N 极间中点处的视电阻率值  $\rho_s$  (单位:  $\Omega\text{m}$ )。然后, 所有仪器设备沿测线同时向前移动, 逐点测量、计算  $\rho_s$  值, 便可获得沿测线或测区的  $\rho_s$  值变化规律。式中,  $K$  是按

供电电极 A、B 与测量电极 M、N 的间距计算出的一定排列情况下的装置系数, 不同的排列方式有不同的  $K$  值。采用带微处理机的数字电法仪, 可将计算公式

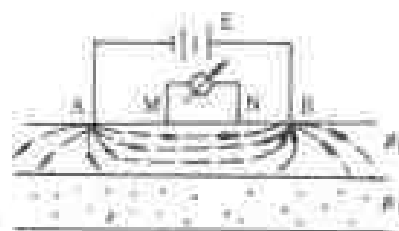
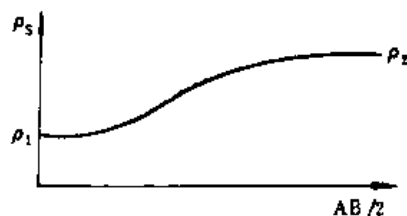


图 1 电阻率法原理图

A、B—供电电极; M、N—测量电极;  
 $\rho_1$ 、 $\rho_2$ —不同岩层的电阻率; E—供电电源

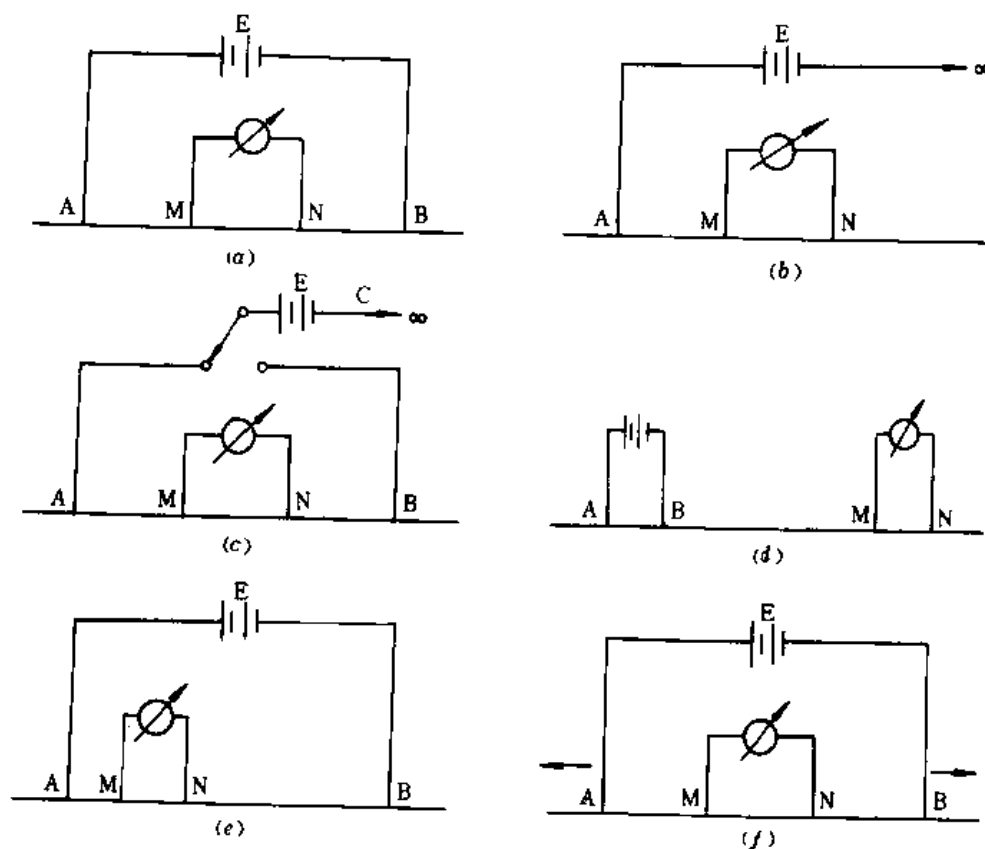


图 2 电阻率法常用装置示意图

A、B—供电电极; M、N—测量电极; E—供电电源; C—联合剖面法无穷远极; a—对称四极装置;  
b—三极装置; c—联合剖面装置; d—偶极装置; e—中间梯度剖面装置; f—对称四极电测深装置



预置在仪器内,仪器直接显示最终的 $\rho_s$ 值。把每次观测得到的 $\rho_s$ 值绘成曲线图,便是野外观测的原始曲线。对原始曲线进行室内整理,并用微型计算机进行正、反演处理解释,绘制成各种解释图件,再结合工作区及邻区已有的各种地质、物探资料,进行综合分析研究,即得出最终的地质解释成果。

电阻率法按电极排列方式和工作方法可分为电阻率测深法(简称电测深法)和电阻率剖面法(简称电剖面法)。常用电极排列方式如图2所示。

(1)电测深法是固定测量电极距,由小到大改变供电电极距,用以研究测点下和测区下不同导电性地质体从浅到深的垂向分布情况。电测深法按电极排列方式不同,又分为对称四极测深、偶极测深、三极测深、环形测深、五极纵轴测深等方法。电测深法一般用于岩层倾角比较平缓的地区,了解从浅到深的岩层和构造情况,并对有电阻率差异的层位进行深度和厚度解释。其最大勘探深度可达数公里。

(2)电剖面法是使供电电极和测量电极的电极距都固定不变,整个装置沿测线朝一个方向移动,在不同测点上进行观测。它是在大体同一勘探深度情况下,了解沿测线的岩层、构造情况,解决有关地质问题。按照电极排列方式不同,电剖面法又可分为:对称四极剖面、复合剖面、联合剖面、偶极剖面、中间梯度剖面等方法。电剖面法主要用于岩层倾角较大的地区,岩层倾角越大,使用越有利。岩层倾角很小时,不宜使用电剖面法。

电阻率法中,对称四极装置、三极装置、偶极装置既可用于电测深法,也可用于电剖面法。

**应用** 电阻率法在中国煤炭工业部门应用广泛。电测深法一般用于隐伏区普查找煤。①通过对隐伏构造的探测,对含煤岩系及其上覆、下伏地层岩石电性特征及沉积环境的研究,寻找含煤构造。②查明落差较大的断层和幅度较大的褶曲。③圈定含煤岩系的分布范围。④预测富煤带。⑤在条件有利时,还可提供含煤岩系上覆地层厚度、含煤岩系基底埋藏深度和含煤岩系厚度等资料,指导找煤钻孔的合理布置,节省钻探工程量,缩短勘探周期。中国自20世纪50年代中期应用电测深法进行普查找煤以来,新发现了大量隐伏煤田,包括:安徽淮北煤田的临涣、许疃、祁南等矿区,河北开滦车轴山、玉田蓟县矿区,江苏丰县沛县矿区等等。经过其后的勘探和开发,其中很多已成为重要的煤炭生产基地和即将开发的大型矿区。电测深法在煤矿区找水和防治水方面也得到了广泛应用。①用它了解新生界含水层与隔水层的分布范围、埋藏深度和厚度。②用它寻找断层及喀斯特裂隙含水带,了解喀斯特在水平

方向和垂向上的发育规律。③用它探查地下水的主要通道等。这可为找水和防治水的钻探工程布置提供依据。近几年来,电测深法还用于在煤矿井下探测厚煤层开采后的残余厚度;煤层与下伏石灰岩的间距以及灰岩喀斯特发育情况。电剖面法主要用于新地层薄覆盖区的地质填图;圈定含煤岩系或厚煤层的分布范围;控制断层位置;探测埋藏较浅的喀斯特裂隙发育带和老矿采空区等。

80年代后期,世界电阻率法野外采集仪器正处于用数字仪代替模拟仪的更新阶段。数字电法仪正向提高发射功率、扩大内存、扩展功能方向发展。传统的电阻率法理论是在假定地下介质呈水平、层状埋藏,其导电性均匀,电流在半无限空间分布的前提下建立起来的,其实质是把复杂的三维空间问题简化为一维问题处理,以便进行数学物理计算。然而,实际的地质结构是复杂的,据这种假设来进行成果解释误差较大。80年代,很多学者研究了二维空间的方法理论,并研制出了相应的计算机处理软件。三维解析问题也正在进行研究。

(黄治平)

## dingxiang zuanjin

**定向钻进** (directional drilling) 使钻孔轴线按设计的轨迹钻到预定目标的钻进方法。按所采用的定向技术不同,定向钻进分为初级定向钻进和受控定向钻进两类。初级定向钻进使用常规钻具,利用在一定岩层和工艺条件下钻孔自然弯曲的规律,通过移动开孔位置、改变开孔方向等方法来进行,因而具有很强的地域性;受控定向钻进又称人工造斜定向钻进,要采用人工造斜工具和相应的工艺措施,有时还与钻孔自然弯曲规律相结合,使钻孔钻达预定位置,这种方法控制钻孔方向的能力较强,但工艺操作较复杂。

利用定向钻进方法,可以在困难的施工条件下较容易地保证钻探工程质量或满足一些高难度的技术要求,减少钻探工程量,节省施工准备费用,降低成本,应用范围越来越广,方法本身也不断发展完善。

### 应用范围

(1)用于地面情况特殊,使钻探施工受到限制的情况。包括为避开交通要道、湖泊或沼泽以及建筑物等,或者由于山高坡陡,无法平整钻探场地、必须移动孔位、为钻达原定目标,就可采用定向钻进。进行海上钻探时,为充分利用平台,要在一个平台上钻几个钻孔(一基多孔)或在一个钻孔的下部再钻几个分支孔(一孔多支),也要用定向钻进。

(2)由于地下条件特殊而采用。包括勘探急倾斜煤

层,可用分支孔代替加密钻孔;在煤层上方有采空区、溶洞或其它复杂岩层时,可采用定向钻进避开或尽量少穿过这些层段。

(3)为满足特殊的工程需要而采用。包括补取岩、煤心,地下定点采样,敷设地下电缆或管道,纠正钻孔偏斜或绕过复杂事故孔段,增加水井、油井、气井产量,进行煤的地下气化或用深钻孔抽放瓦斯,施工灌浆孔、冻结孔、放水孔、灭火孔及救援孔等。

**空间形态及其分类** 用定向钻进方法完成的钻孔称定向钻孔。为确定钻孔的空间形态和位置,要在钻孔内每隔一段距离测量相应的孔深、顶角(或倾角)和方位角,并据此绘制钻孔轨迹图和计算钻孔弯曲强度。为简便,常用顶角弯曲强度和方位角弯曲强度两个参数,分别表示钻孔每米长度上顶角和方位角的变化大小,必要时还可进而计算出相应的全弯曲强度。

按孔身轨迹的几何特征,定向钻孔可分为直线型、平面曲线型和空间曲线型等三种。

(1)直线型定向孔。孔身的顶角和方位角都基本不变(全弯曲角小于 $3^\circ$ ),包括垂直孔和斜直孔。

(2)平面曲线型定向孔。孔身在某一垂直平面内只有顶角变化而无方位角变化,或顶角和方位角虽然都有变化,但孔身仍处在某一倾斜平面内。

(3)空间曲线型定向孔。既有顶角变化又有方位角变化,而且孔身又不在同一平面内。

按孔身的复杂程度,定向钻孔可分为:单底定向孔、分支孔、平面型羽状孔和空间型集束孔(又称全方位定向孔)等。

**造斜工具** 进行受控定向钻进必须借助于一些专用工具,使钻孔增斜、减斜或保直(稳斜)。

• **偏斜楔** 又称偏心楔,安装在钻孔造斜点上,利用其倾斜楔面迫使钻头向一侧偏斜,以改变钻孔方向的工具。其结构型式较多,但基本上分固定式和可回收式两类。其结构简单、制造容易,是使用较早的一种造斜工具。缺点是操作工序较繁琐、工效低,钻孔在造斜点形成急剧的弯曲,对钻杆不利。

**连续偏斜器** 又称连续造斜器,靠一套造斜机构使钻头在钻进时受到一个固定方向的侧向力,借此连续改变钻孔方向。由于是连续造斜,孔身呈平滑曲线。造斜钻进与正常钻进规程相近,钻速受影响较小,操作工序简单,节省时间,已逐渐取代偏斜楔造斜。

**造斜钻具组合** 在常规钻具靠近孔底的一段接入稳定器、万向节、导斜接头等造斜专用部件,改变钻头的受力状态,在钻进过程中使钻孔方向逐渐改变,但一般只对顶角有较强的控制能力。

**孔底动力机配合造斜件** 通过弯管或弯接头使孔

底动力机的轴线与钻孔轴线斜交,在钻进过程中维持其相对位置,使钻孔朝着所确定的方向偏斜。孔底动力机有:螺杆钻、涡轮钻和电钻等三种。在地质钻探中,因钻孔口径小,以螺杆钻应用较为普遍。钻进时,钻杆不转动,可减少钻杆的磨损和折断事故,利于维护孔壁。造斜件结构简单、使用方便,钻具定向方便可靠,对顶角和方位角都能有效控制,是目前最理想的造斜工具。

**喷射造斜钻头** 靠冲洗液定向喷射破碎岩石产生造斜作用,仅适用于松软岩(土)层,局限性很大。

**造斜工具定向与随钻定向** 为保证钻孔按预定的方向延深,除选用合适的造斜工具之外,造斜工具的定向也非常重要。

造斜工具定向的方法有直接定向、间接定向和随钻定向等三种。①直接定向,是使造斜工具直接相对于子午线或坐标已知点定向,采用的定向仪通常靠地磁工作。②间接定向,是首先测出钻孔造斜点的方位角,再以此为参照使造斜工具定向,从而间接地相对于子午线定向,采用的定向仪借助于重力工作。③随钻定向,又称随钻测量(Measurement While Drilling,简称MWD),是将随钻监测仪的探管装在孔底动力造斜钻具上,一面钻进,一面把有关钻孔方向(顶角、方位角)和钻具造斜方向(工具面向角)的信息传送到地面,据此及时调整造斜工具的造斜方向。

直接定向和间接定向的共同缺点是都需停钻专门进行定向工作,费时、费事,而且定向精度不高。随钻定向则克服了前述缺点。目前,随钻定向系统有两类,一类是有线的(以电缆为通道);另一类是无线的(以冲洗液柱或钻杆柱为通道),包括压力脉冲法,电磁波法和声波法等。

### 参考书目

吴光琳,《定向钻进工艺原理》,成都科技大学出版社,1991。

刘广志等,《金刚石钻探手册》,地质出版社,1991。

(郭忠礼)

donglitou shi zuanj

### 动力头式钻机 (motor head drive drill)

回转式钻机中的一种较新的机型,其回转器可以沿机身的导轨在给进行程范围内往复移动。常见的一种是全液压动力头式钻机,其特点是作为回转动力机的液压马达与回转器连成一体,可同时移动。另一种是机械动力头式钻机,其回转动力机为电动机,或固定在机身上,通过一根长传动轴带动移动式回转器;或与回转器连成一体,可同时移动。



**特点** 动力头式钻机可以实现长行程给进、无塔提升,施工各种角度的钻孔时都能方便地升降钻杆,在坑道钻探中显示出明显的优越性,在许多国家已成为坑道钻机的主导机型。尤其是全液压动力头式钻机,通过合理设计液压系统可实现操作联动化,在单根钻杆拧卸的情况下仍能达到与有塔长立根提升相当的升降速度,使其在地面钻探中的应用范围也有不断扩大的趋势。机械动力头式钻机的优点是传动效率较高,在对变速范围和档数要求不高时,还可减少整机的重量。生产中应用较多的岩石电钻是小型动力头式钻机的成功实例。在大型工程施工钻机中,也有采用机械动力头结构的。但在地质勘探方面,这种钻机结构不如全液压动力头式优点多,应用很少。

**全液压动力头式钻机** 通常由主机、泵站和操纵台三大部分构成。供地面用的全液压动力头式钻机一般有一个公共底座,把这三个部分联结为一体,以便整体搬迁;供坑道用的全液压动力头式钻机为使安装和搬运方便,多采用分体式结构,将整台钻机分成两大件或三大件。在恶劣条件下搬迁时,甚至还要进一步分解(参见彩图插页第38页)。

**主机** 一般由回转器(动力头)、给进装置、夹持器和机架等部件组成。采用绳索取心方法时,还要配备绳索绞车和导绳架。大部分动力头式钻机的给进装置同时用以升降钻具,少数产品则另配升降机。①回转器有通孔和非通孔两种结构。通孔回转器能让钻杆从主轴中穿过,可以使用较长的钻杆,但钻进过程中每次接钻杆都要拧卸水接头,使用范围较广;非通孔回转器可使水接头与主轴连成一体,接钻杆不必拧卸水接头,但只能使用长度小于给进行程的钻杆,辅助时间较长,通常只用于无岩心钻进。②给进装置的结构型式有油缸给进、油缸—链条(钢丝绳)倍速给进和液压马达—链条给进等三种。第一种只在给进行程较小时采用。③用来固定孔内钻具的夹持器与回转器和给进装置相配合,可以实现机械拧卸钻杆和升降钻具。为避免在钻进垂直孔时由于液压系统故障或突然停电造成跑钻事故,夹持器通常采用常闭式结构。为便于粗径钻具和套管通过,回转器和夹持器常采用开合结构与给进装置的拖板或机身相连。④机架的型式也有多种,主要取决于使用条件。在坑道中使用的钻机以支柱式为主,借助于液压或螺旋千斤顶固定在煤层顶、底板之间。个别钻机采用可调高支腿来支撑机身,再通过锚杆与工作面的岩壁相连,使机身在工作负载作用下保持稳定。在地面使用的钻机以滑橇式底座为主。有的钻机既有支柱又有滑橇,属于坑道和地面两用的型式。

**泵站** 又称动力设备,由动力机、油泵、油箱等部

件组成。①动力机常用电动机或柴油机,个别情况下也用风马达。②油泵的型式主要取决于调速方式,在要求回转器无级调速时,采用轴向柱塞式变量泵,否则多用齿轮泵。③油箱上常装有滤油器、冷却器、空气滤清器、截止阀、缺油保护装置等,以提高液压系统运行的可靠性。

**操纵台** 其上安装着油路控制阀和一些必要的指示仪表,用以实现对钻机的集中操纵,并监视其工作状况和间接地了解孔内情况。

全液压动力头式钻机的液压系统常用双泵开式系统,钻进时由主泵向回转器供油,辅泵向给进装置供油。升降钻具时,再改用主泵或双泵并联向给进装置供油,以提高钻具升降速度。为简化结构、降低成本,有时也用单泵开式系统,但在钻进大仰角钻孔时,给进压力的调节受到回转油路负载的干扰,难以正常钻进,在设计上需要采取补救措施。三泵系统和闭式系统应用极少。

(胡少勤)

duanxian meipendi

**断陷煤盆地** (fault coal basin) 又称断裂拗陷煤盆地,盆地边缘由断裂控制,含煤岩系的基底不连续,被一系列断层分割成断块状的煤盆地。这些断块控制着盆地的沉降。盆地边缘两侧均有控制性断裂的称地堑式(graben)煤盆地;单侧有控制性断裂的称半地堑式(half-graben)煤盆地或箕状断陷煤盆地。在断陷盆地的演化和聚煤过程中,同沉积断裂起着主导的控制作用。

断陷煤盆地在中国分布十分普遍,最重要的是分布于东北三省和内蒙古自治区的早白垩世断陷盆地系,包括百余个断陷煤盆地,既有地堑式(如阜新煤盆地),又有半地堑式(如霍林河煤盆地,图1、2),较大的断陷煤盆地由几个半地堑和地堑组合而成(如二连附近的额合宝力格煤盆地)。云南和广西是中国第三纪至第四纪早期断陷煤盆地最为集中的地区,包括小龙潭煤盆地、昆明煤盆地和百色煤盆地。

断陷煤盆地有五个主要特征。

(1)盆地边缘有控制性断裂,断裂内侧有巨厚的冲积扇、扇三角洲等近源粗碎屑沉积体系。

(2)盆地一般都为窄长状。其形态受盆地基底的断裂网络控制。

(3)盆地形成于伸展构造背景。中国的断陷煤盆地还与扭动构造有关,张扭阶段是盆地的主要沉降阶段,后期一般向压扭转化,并常产生构造反转。

(4)盆地具有快速沉降特点。盆地充填厚度大,可



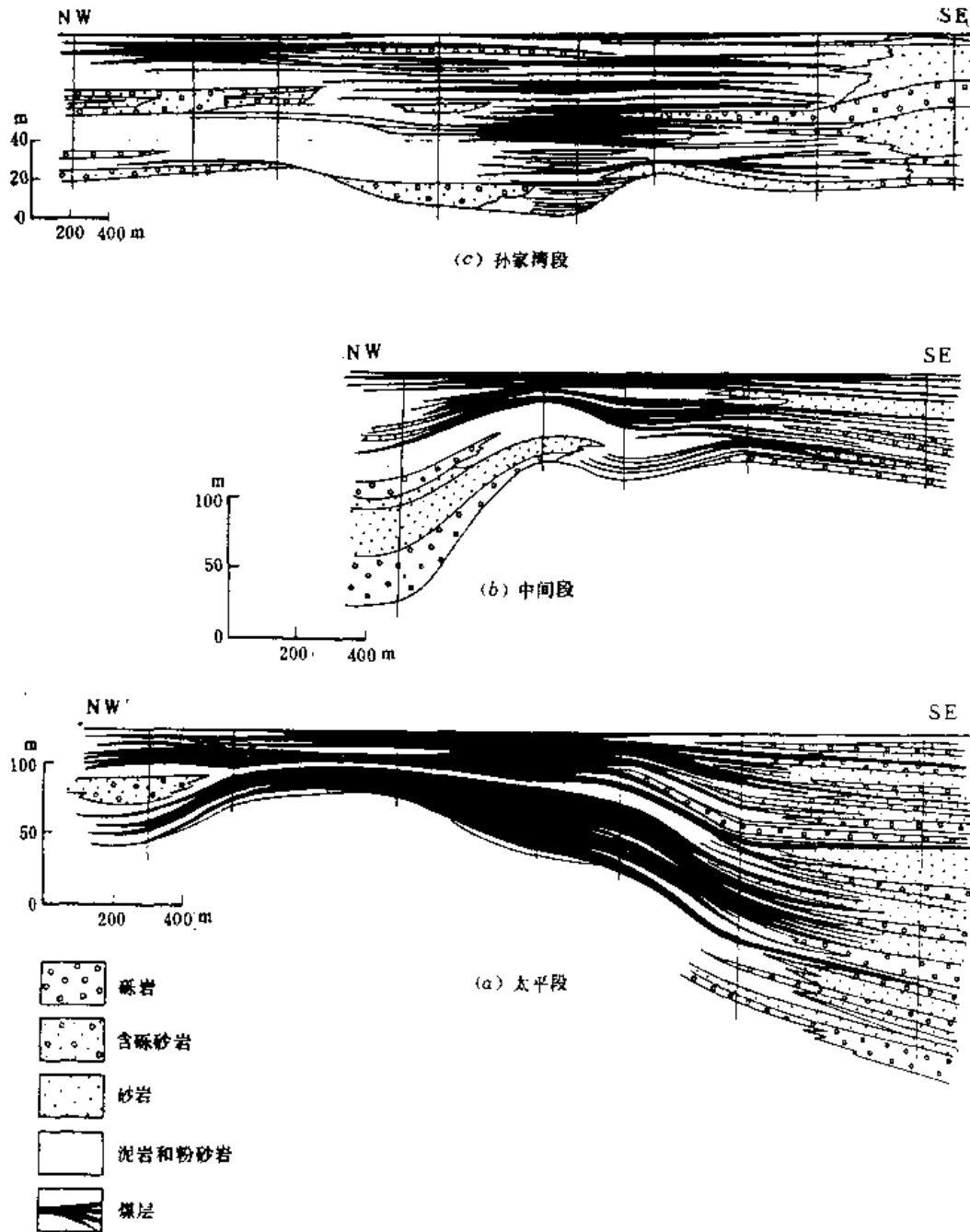


图3 阜新煤盆地海州组煤层的分岔

达2000~4000m,周缘分布有大量粗碎屑沉积,中心部位常有巨厚的湖相泥岩,盆地内部沉积、构造都有明显的分异。同沉积构造发育。

(5)常形成数十米乃至200余米的巨厚煤层。内蒙古的胜利煤盆地,辽宁的阜新煤盆地,云南的小龙潭和先锋煤盆地等都是这样。中生代的断陷煤盆地除形成巨厚煤层外,煤层常向盆地中心剧烈分岔(图3)。

断陷煤盆地由于常有埋藏浅的巨厚煤层,宜于露

天开采,因而具有巨大的经济价值。

#### 参考书目

李思田、杨士恭、黄家福等,《断陷盆地分析与聚煤规律》,地质出版社,1988。

(李思田)

Dunnienci Meitian

顿涅茨煤田 (Donets Coalfield)

乌克兰石



炭纪煤田,简称顿巴斯 (Донецк),位于乌克兰共和国东部,由第聂伯彼得罗夫斯克州往东延伸,穿过顿涅茨克州、哈尔科夫州、伏罗希洛夫格勒州,直至俄罗斯联邦罗斯托夫州,东西长 650km,南北宽 70~170km,面积约 6 万 km<sup>2</sup>,是乌克兰最大、采煤历史最悠久的煤田。由于该煤田地处前苏联西部工业中心,炼焦煤储量又较丰富,因而开发程度很高,煤炭总产量和无烟煤及炼焦煤产量一直居前苏联首位。

**地质** 顿涅茨煤田在构造上呈大的复向斜,其主体部分 (3.6 万 km<sup>2</sup>) 为顿巴斯褶皱区。在由俄罗斯地台深大断裂所形成的近东西向拗陷中充填有较厚的石炭纪含煤沉积。顿巴斯褶皱区以西,即西顿巴斯,为一狭窄的 (宽 10~40km) 发育有石炭纪含煤沉积的地台边缘带,位于乌克兰结晶地盾的北坡,延伸约 300km,总面积约 8000km<sup>2</sup>。该带的东部称为南顿巴斯。煤田北部的地台边缘部分,位于沃罗涅日 (Воронеж) 结晶地块的南坡,面积约 1.5 万 km<sup>2</sup>。

煤田地台边缘部分的石炭系的总厚度不超过 2~3km。由拗陷带边缘到中央,石炭系厚度逐渐增加到 18km。在拗陷的西部边缘,在石炭系之上产出有巨厚 (1200~1500m) 的二叠系。顿巴斯褶皱区,在 64% 面积上,石炭系直接出露地表或被厚度不大的第四系覆盖。下石炭统杜内阶和维宪阶下部为碳酸盐岩。维宪阶上部到上石炭统是石炭纪含煤岩系的主要部分,为陆源岩石,主要由砂岩、粉砂岩和泥质岩组成,其中夹有煤层和石灰岩。下石炭统分五个岩组,中石炭统分八个岩组,上石炭统分三个岩组。

在煤田内,含煤岩系的构造型式有很大区别 (下页图)。在西顿巴斯和南顿巴斯,岩层大体为单斜产状,倾角 2°~3°,在此背景下发育有平缓的凹陷、穹状隆起,断裂构造发育,主要为正断层,与走向横切和斜交,形成复杂的块状构造。在顿巴斯褶皱区,主要为宽阔的向斜和因被逆掩断层破坏而变形的狭窄背斜;构造分带很明显,拗陷的中部是近东—西向延伸的大型线性构造,包括主背斜、北向斜和南向斜;在向斜中还分布有孤立而较大的次级向斜构造,这些褶皱不对称,一般与主背斜相邻的一翼较陡,另一翼较平缓。在大型线性褶皱的中央带的北部和东部地区,褶皱的规模变大,形状简单;西北部地区,呈现链状、雁状连结的穹窿。

**含煤性** 顿涅茨煤田石炭纪含煤岩系含有 300 多层煤,其中近 2/3 的厚度小于 0.45m。少数煤层的最大厚度为 1.8m (偶尔达到 2.5m)。在 130 层厚度大于 0.45m 的煤层中,40%~60% 的厚度为 0.45~0.60m;厚度大于 1m 的煤层数约占厚度大于 0.60m 的煤层数的 20%。含煤性最高的是下石炭统的 C<sub>1</sub><sup>3</sup> 组和中石炭

统的 C<sub>2</sub><sup>3</sup>—C<sub>2</sub><sup>7</sup> 组。在纳穆尔阶和中巴什基尔阶 (C<sub>1</sub><sup>4</sup>—C<sub>2</sub><sup>2</sup> 组) 以及上石炭统下部 (C<sub>3</sub><sup>1</sup> 组),只含个别可采煤层;上石炭统上部岩组无工业含煤性。各岩组的含煤系数有变化。

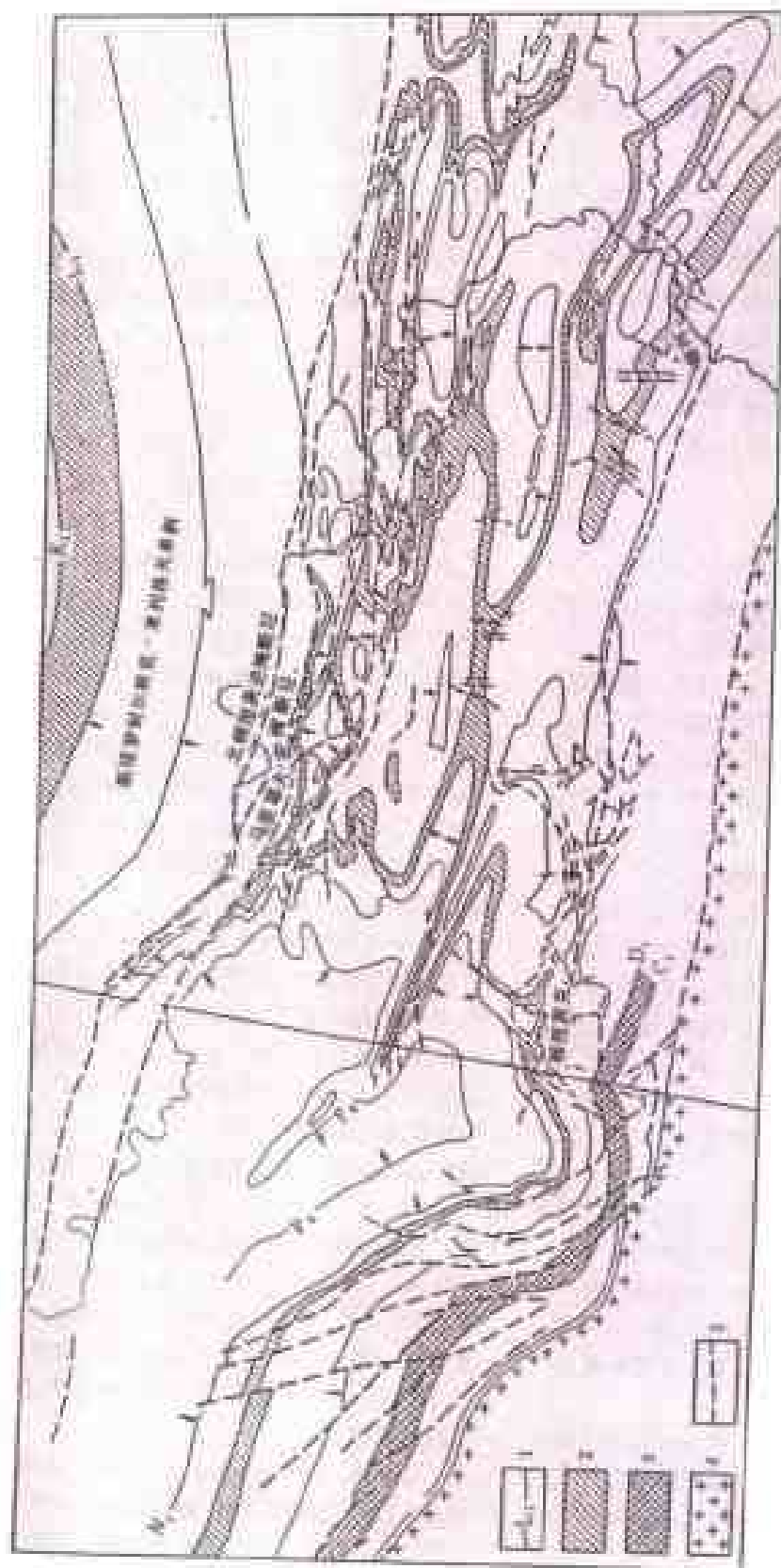
**煤质** 在宏观煤岩类型上,早石炭世煤与中—晚石炭世煤有明显差别。前者为半亮型煤,壳质组含量高,煤的挥发分产率、氢含量、发热量增高,可熔性明显增加,即使在变质程度较低时,也具有高的粘结性。后者为光亮型煤,镜质组含量占 75%~95%,壳质组含量占 2%~10%,其工艺性质取决于凝胶化物质的特征,具有很大变化,这与原始植物材料的聚积和埋藏条件的不同有关。该煤田的煤可区分出弱还原 (“a” 型) 煤和还原 (“n” 型) 煤。在变质程度相等时,弱还原煤的特点是,其挥发分、发热量、粘结性和硫含量都低,是在氧化程度较高、覆水程度浅的沼泽中形成的,其中的植物残体分散程度较低。

顿涅茨煤田的煤种很全,从褐煤、长焰煤到贫煤和无烟煤均有。决定煤质多样性的主要因素是煤的变质程度。从复向斜边缘向中部,由西向东,石炭系各岩组的厚度增加,各岩组煤的变质程度有规律地增高。在地层剖面中,由上部煤层到下部煤层,煤的变质程度增高符合希尔特规律,煤变质梯度 V<sub>daf</sub> 为 0.8%~1.4%,R<sub>o</sub> 为 0.03%。该煤田决定煤质变化的主要变质作用类型是深成变质作用。

煤的发热量高,低位发热量多为 30~36MJ/kg;磷含量低,易于洗选,适于炼焦,但焦煤和肥煤很少;灰分较高,为 15%~30%,平均 27%;硫含量一般,为 1.5%~3.5%。

**资源** 顿涅茨煤田煤炭资源量 141Gt (计算深度 1800m),其中炼焦煤约占 38%。A+B+C<sub>1</sub> 级储量约为 57Gt (占资源量的 39%),其中乌克兰部分为 43Gt (内含炼焦煤 15.2Gt),占乌克兰 A+B+C<sub>1</sub> 级总储量的 91.6%。煤田中分布最广的为气煤,其储量约占煤田 A+B+C<sub>1</sub> 级储量的 36%。煤田东南部 (俄罗斯罗斯托夫州一带) 有无烟煤,占煤田 A+B+C<sub>1</sub> 级储量的 17.8%。在气煤与无烟煤之间,有一条宽 15~20km 的狭窄带,其中蕴藏有气肥煤、肥煤、焦煤、瘦煤,其储量约占煤田 A+B+C<sub>1</sub> 级储量的 13%。其余储量为长焰煤 (约占 22%) 和褐煤 (约占 11.2%)。

**开采地质条件** 顿涅茨煤田的开采地质条件复杂。老采区上部水平的煤储量大部分已采完。目前,矿井平均采深 700m,有 15% 矿井深度大于 1000m。开采煤层厚度,有 85% 达 1.2m。缓倾斜和倾斜煤层占 65%,急倾斜煤层占 35%。煤田内发育有大小型冲刷带,断裂构造多,煤层顶板易冒落。深部煤层地压大,



顿涅茨煤田地质简图

1—石灰岩标志层露头；2— $C_2^5$ 组露头；3— $C_1^4$ 组露头；4—乌克兰结晶地盾前寒武系；5—断层  
(据 К. В. Миронов, 1973)



瓦斯含量达  $30\text{m}^3/\text{t}$ 。1/3 矿井有瓦斯突出危险。现最大开采深度的岩石温度为  $45\sim 52^\circ\text{C}$ 。水文地质条件复杂程度不一,大部分矿井的涌水量为  $50\sim 100\text{m}^3/\text{h}$ ,少部分为  $100\sim 250\text{m}^3/\text{h}$ ,平均每采出一吨煤需排水近  $6\text{m}^3$ 。

**开发概况** 顿涅茨煤田早在 1722 年即开始采煤,1769 年起进行工业性开发。1913 年煤产量提高到 25Mt,占俄国煤产量的 87%。20 世纪 60 年代以来,虽然该煤田的开采地质条件恶化,井深不断增加,吨煤开采成本高于全国,但是由于其所处地理位置,1980 年总产量仍达 205Mt。近年来,其煤产量呈下降趋势。1992 年,该煤田乌克兰部分煤产量为 65.5Mt;1990 年,该煤田俄罗斯部分煤产量为 27.6Mt。

(李谦清)

duozhizu

**惰质组 (inertinite)** 国际硬煤和褐煤及中国烟煤的显微组分分类中的一个显微组,因其在焦化过程中不软化、具惰性而得名。1952 年,德国煤岩学家 E. 斯塔赫 (E. Stach) 首次提出惰质组这一术语。

惰质组是大多数煤中含量仅次于镜质组、居第二位的显微组分。在中国西北一些地区早、中侏罗世煤中,惰质组含量高达 35%~50%,致使大量低、中煤级烟煤在分类上归属于不粘煤或弱粘煤。

**性质** 惰质组的透射色呈棕色、深棕色以至黑色,其反射色由浅灰色、灰白色、白色到黄白色。惰质组的反射率通常是各显微组分中最高的,仅在高煤级无烟煤阶段,镜质组和壳质组的最大反射率可超过惰质组。惰质组具正突起。惰质组无荧光或具弱荧光。

惰质组的碳含量高,挥发分、氢含量和氧含量低,芳构化程度高,密度大。在炼焦用煤中,惰质组不具粘结性,在加氢液化时转化率很低。

**显微组分** 惰质组可分为丝质体、半丝质体、粗粒体、微粒体、菌类体和惰屑体等六种显微组分。

**丝质体 (fusinite)** 在透射光下细胞壁黑色不透明,在反射光下突起高而反射力强 (参见彩图插页第 3 页 7、8)。按其成因,主要可分为火焚丝质体和氧化丝质体两种亚组分。

**火焚丝质体 (pyrofusinite)** 植物或泥炭在森林或泥炭沼泽中发生火灾,经不充分燃烧炭化而成。其细胞结构清晰,细胞壁很薄,突起很高,反光色常呈黄白色。

**氧化丝质体 (oxyfusinite)** 植物组织在泥炭表层供氧较多的条件下,经脱水和氧化或木质部受干腐菌等真菌的腐解作用而成。其突起高,反光色呈白色。由

干腐菌等真菌的腐解作用而生成的氧化丝质体,其细胞结构很模糊,常与真菌菌类体共生。

**半丝质体 (semifusinite)** 反射率低于丝质体且变化范围较宽;细胞壁多经膨化;反光色呈白色或浅灰色 (参见彩图插页第 3 页 6、8,第 11 页 5、6、9),透光色呈深棕色到棕黑色;大多数半丝质体在成因上属氧化半丝质体。

**粗粒体 (macrinite)** 无定形、不显细胞结构的惰质组组分。它既可呈基质状出现,也可呈单独的浑圆形颗粒出现。其反光色呈白色到浅灰色,透光色呈黑色到棕色。低突起或无突起 (参见彩图插页第 3 页 7,第 4 页 9,第 10 页 4,第 12 页 10)。

**微粒体 (micrinite)** 惰质组中性质较特殊的显微组分。它呈圆形,大小不超过  $1\mu\text{m}$ ;反光色呈浅灰色到白色,不显突起,透光色呈黑色到深棕色;其产状多样,既可充填于结构镜质体的细胞腔中,也可浸染在基质镜质体中,还常富集成薄层与无结构镜质体互层。在微粒体的集合体中,常有粘土矿物共生。对微粒体富集物的研究表明,微粒体富含脂肪烃类,芳香度较低, H/C 原子比高于同煤级镜质组,而其密度低于同煤级镜质组,说明其化学性质不同于其它惰质体,而与镜质组相近。微粒体是沥青质体、富氢镜质组等油源型显微组分在煤化过程中经歧化反应,排出液态沥青后的高反射率的固态裂解残体,在低煤化烟煤阶段,某些树脂体和孢子体也可形成微粒体。

**菌类体 (sclerotinite)** 由真菌遗体或树脂等分泌物变化而成的高突起、高反射率惰质组组分。①真正的菌类体是具有细胞结构的真菌菌类体 (fungosclerotinite),按其形态可分为真菌菌丝、菌孢子、菌核和密丝组织。中、新生代褐煤和低煤级烟煤中有多种形态的真菌菌类体 (参见彩图插页第 7 页 5,第 12 页 13、14),由于这些真菌含黑色素,因而透光色呈深棕色到黑色,而反光色呈白色。②分泌菌类体也称氧化树脂体,是由细胞的树脂和鞣质分泌物在泥炭表层经氧化作用或丝炭化作用所形成。最常见的分泌菌类体呈卵形,外缘光滑、致密,内部有时呈泡沫状;另一种分泌菌类体不含气泡,而发育平直的裂纹,有时裂纹作为氧的通道引起其两侧氧化,形成反射率较低的窄带 (参见彩图插页第 12 页 11、12)。

**惰屑体 (inertodetrinite)** 又称碎屑惰质体。粒度小于  $30\mu\text{m}$ ,无细胞结构,难以确认其来源的惰质组细小颗粒。其大多是由风力或水流带入泥炭沼泽中的丝质体、半丝质体的碎屑,是煤和碎屑岩中常见的显微组分 (参见彩图插页第 3 页 7)。

(任德盼)



## E

## Eerduosi Meitian

**鄂尔多斯煤田** (Eerduosi Coalfield) 中国最大的多纪煤田,世界特大型煤田之一,地跨陕、甘、宁、内蒙古、晋五省区,东西宽400km,南北长600km,平面略呈矩形。“鄂尔多斯”蒙语意为“很多的宫殿”,地质界多把黄河河套以南,渭河平原以北,吕梁山以西,贺兰山以东的区域称作鄂尔多斯地台,本煤田范围大体与之相当。鄂尔多斯煤田成煤期有石炭二叠纪、晚三叠世、中侏罗世。按含煤岩系分布,该煤田可划分为三个含煤带。①东带。石炭二叠纪煤产地,包括准格尔、河东、渭北等。②西带。石炭二叠纪煤产地为主,包括桌子山、贺兰山、韦州等,另有汝箕沟等零星中侏罗世煤产地。③中带。其东侧有东胜、神木等中侏罗世及子长、牛武晚三叠世煤产地;西侧有灵武、固原中侏罗世煤产地;南部有黄陵、彬县、陇县、华亭等中侏罗世煤产地(下页图)。

**地质构造** 本煤田系一近南北向构造盆地,向斜轴部在宁夏盐池—甘肃环县一线,东翼平缓( $<10^\circ$ )、西翼稍陡( $>20^\circ$ )。轴部由白垩系组成,向两翼依次分布侏罗系、三叠系、二叠系、石炭系及奥陶系。向斜之上被新生界不整合覆盖。晚古生代及中生代地层均形成于华北更为广阔的沉积盆地,中生代末的构造变动形成了封闭的盆状格局,并使煤系得以保存。整个盆地构造条件简单,尤在东翼中小型褶曲断裂颇为少见。盆地内尚未发现火成岩。

**石炭二叠纪煤系** 包括晚石炭世本溪组(羊虎沟组)、太原组,早二叠世山西组及下石盒子组四组含煤地层。煤层情况如表1所示。

**本溪组** 在东带,由褐铁矿、铝土矿、砂泥岩夹石灰岩薄层或煤线组成,厚度小于30m,于铜川以西尖灭;在西带,称羊虎沟组,由海陆交替相砂岩、泥岩、薄层石灰岩夹薄煤层或煤线组成,厚度30~1580m不等,局部含可采煤层。

**太原组** 由海陆交替相砂岩、泥岩、粘土岩夹石灰岩薄层及煤层组成。本组在煤田中部无沉积;东带厚

50~80m,在铜川西南泾河附近尖灭;西带厚46~618m。组内产可采煤多层。

**山西组** 由陆相及滨海相砂岩、泥岩、粘土岩夹煤层组成。煤田中部沉积薄(小于20m);东带厚40~60m;西带厚29~170m。含1~3层稳定可采煤层。

**下石盒子组** 由陆相砂岩夹泥岩,局部夹煤线或薄煤层组成,厚33~298m,不含可采煤层。

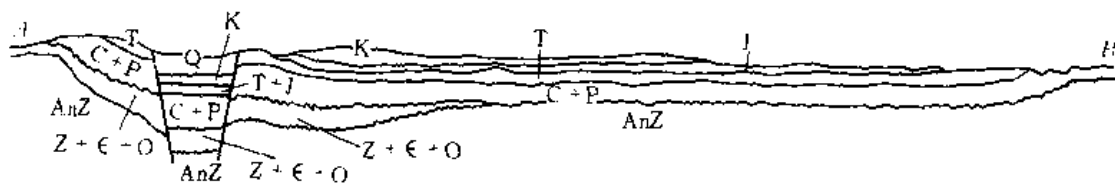
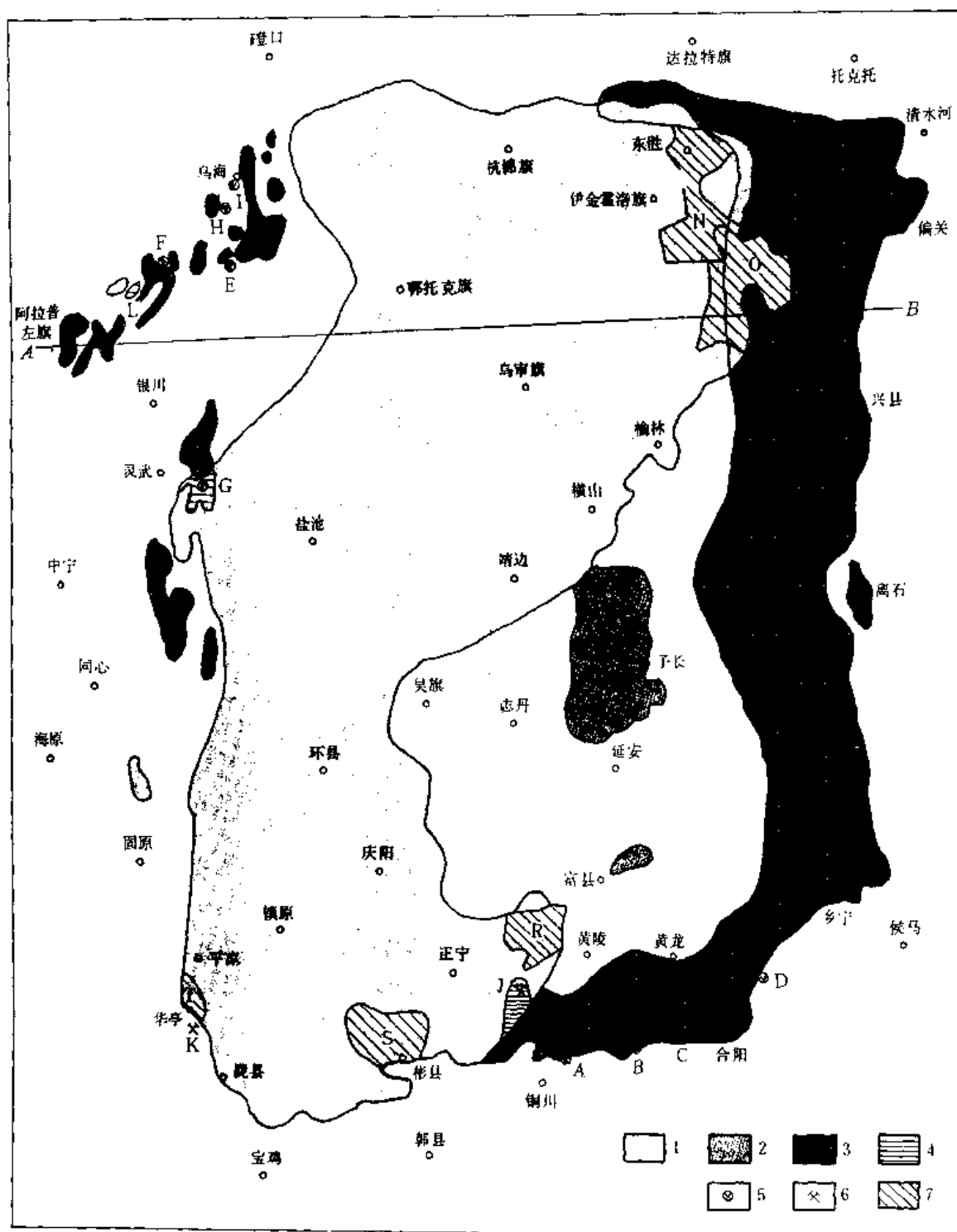
表1 石炭二叠纪煤层情况表

| 煤产地   | 煤层层数  | 可采煤层层数 | 可采煤层总厚度(m)  |
|-------|-------|--------|-------------|
| 准格尔   | 12    | 5~7    | 58.85       |
| 河东    | 11~15 | 5~7    | 10.30~28.24 |
| 渭北    | 10~11 | 4~5    | 8~10        |
| 桌子山   | 20    | 5      | 5.23~11.24  |
| 贺兰山   | 12~24 | 12~22  | 27.32~36.27 |
| 韦州、韦州 | 12    | 8~12   | 12.84~22.21 |

**晚三叠世煤系** 名瓦窑堡组,属上三叠统延长群的顶部层位,由陆相砂岩、泥岩夹煤层及油页岩组成,局部夹泥灰岩透镜体,厚186~412m。可采煤层仅分布于子长县及富县牛武两处煤产地。煤层层数最多可达32层,但多为薄煤层,仅有两层可采,可采煤层总厚0.31~4.66m。

**中侏罗世煤系** 名延安组,由陆相砂岩、页岩、粘土岩夹煤层组成,厚60~618m。除在陕西北部大理河以南、葫芦河以北、吴旗县以东地区,该组内无可采煤层外,煤田内其它部位均含有可采煤层(表2)。

**煤质** ①石炭二叠纪煤多属中—富灰、低—高硫煤,一般山西组以产低—中硫煤为主,太原组以高硫煤为多。除北部准格尔为长焰煤外,其余煤产地均为烟煤。东带煤级在平面上由北向南变质程度增高;河东煤产地北段(府谷—离石)为气煤,南段(离石—乡宁)为肥、焦、瘦煤,渭北煤田为瘦、贫煤(深部无烟煤)。



鄂尔多斯煤田示意图

1—中侏罗世含煤带；2—晚三叠世含煤带；3—石炭二叠纪含煤带；4—生产矿区；5—矿务局；A 铜川，B 蒲白，C 澄合，D 韩城，E 石嘴山，F 石炭井，G 灵武，H 乌达，I 海勃湾；6—重点煤矿，J 崔家沟，K 华亭，L 汝箕沟；7—建设中煤炭基地；M 准格尔，N 东胜，O 神木，P 离柳，Q 乡宁，R 黄陵，S 彬县，T 华亭

西带煤多属气、肥、焦煤。河东煤产地南段的离石、柳林、乡宁一带是中国主要炼焦煤基地。②晚三叠世煤属低—中灰、中硫煤，为气煤。③中侏罗世煤属中—低灰、

最大的天然气田。

**开采地质条件** 煤田中绝大部分地区地质构造和水文地质条件均很简单，属中国煤矿开采条件最好之处。但渭北、贺兰山、桌子山煤产地中小型断裂比较复杂，渭北中深部（标高+380m以下）还有受奥陶纪灰岩水威胁问题。在煤系埋藏浅部，煤层倾角平缓，适宜建设露天矿（准格尔、东胜、陕北、黄陵等）。现有开采矿井尚浅，暂多属低瓦斯矿井，仅在石嘴山矿区有瓦斯突出，因煤层甲烷随深度而增加，估计今后瓦斯突出危险会增大。煤尘爆炸在渭北、贺兰山、河东等处均已有所发生。中侏罗世煤层普遍有自然发火现象；石炭二叠纪煤层除贺兰山矿区外，一般不自然发火。

**开发概况** 自宋代开始，渭北、河东、贺兰山等地即有采煤活动，在渭北还发现过早自战国时代的挖煤遗迹。目前，煤田内已建成九个矿务局，年产煤超过30Mt（表3）；包括各种经营体制和规模的煤矿，近年来每年煤产量已近100Mt。随着中国煤炭工业战略西移，该煤田已成为全国煤炭工业建设的重点。正在建设的大型煤炭基地尚有：准格尔（露天）、离柳、东胜、神木和华亭等。

表2 中侏罗世煤层情况表

| 煤产地 | 煤组层数 | 可采煤层层数 | 可采煤层总厚度 (m) |
|-----|------|--------|-------------|
| 东胜  | 25   | 5      | 17.3        |
| 神木  | 27   | 2~3    | 18~22       |
| 准格尔 | 7~9  | 7~8    | 28.3~40.5   |
| 离石  | 9~17 | 6~17   | 11.4~26.8   |
| 黄陵  | 4~10 | 2~3    | 7~10        |
| 柳林  | 8    | 7      | 11          |
| 乡宁  | 10   | 7~10   | 27~30       |

低硫煤，除汝箕沟为无烟煤、黄陵有部分气煤外，其余均为不粘煤、弱粘煤或长焰煤。煤田北部的东胜、陕北地区，煤的灰分极低，是中国著名的优质动力煤产地；而汝箕沟亦以特低灰分成为著名的优质无烟煤产地。

**资源** 全煤田煤炭资源量约1800Gt，其中埋深1000m以浅的约650Gt。截止1989年底的探明储量总计346.4Gt，各煤产地的探明储量为：准格尔25.3Gt，河东50.3Gt，渭北6.2Gt，东胜73.3Gt，陕北135.7Gt，子长0.8Gt，黄陵14.4Gt，汝箕沟0.6Gt，灵武25.4Gt，华亭5.2Gt，桌子山3.7Gt，贺兰山2.5Gt，韦州横城3.0Gt。

该煤田也是一个大型含油、气盆地，除在中西部华池—环县及银川—灵武一带已发现不少中、小型油田以及全盆地有不少中、小型气田分布外，近年又在靖边—横山一带探明天然气储量100Gm<sup>3</sup>，成为中国陆上

表3 鄂尔多斯煤田已建成矿务局产煤能力表

| 矿务局 | 能力 (Mt/a) | 矿务局 | 能力 (Mt/a) |
|-----|-----------|-----|-----------|
| 准 尔 | 7.54      | 石嘴山 | 0.91      |
| 神 木 | 7.92      | 灵 武 | 0.73      |
| 准 合 | 5.91      | 东 胜 | 5.13      |
| 柳 林 | 4.32      | 离柳沟 | 4.30      |
| 石嘴山 | 3.10      | 合 计 | 36.54     |

(王煦曾)

## F

fanshebofa dizhen kantan

### 反射波法地震勘探 (seismic reflection survey)

又称地震反射法、反射波法,利用人工激发的地震反射波探查地下反射界面的深度、构造形态,解释岩性、岩相及沉积环境的一种地震勘探方法。其探测深度可从数米到数千米。它是当前石油、天然气、煤田勘探、工程地质调查中应用最广泛的地震勘探方法。在石油、煤炭勘探中,主要利用地震纵波。

**沿革** 反射波法约始于1913年, R. 费森登(R. Fessenden)借助声波测量水深及冰山冰层厚度,由于技术困难未能实际应用。1921年,美国 J. C. 卡彻(J. C. Karcher)在俄克拉何马首次记录到人工地震形成的反射波,并于1930年用反射波法在该区发现了三个油田。从此,反射波法勘探进入工业应用阶段。

中国于1951年成立第一个地震勘探队,开始用反射波法进行石油与天然气勘探。1956年,华东煤田地质勘探局地球物理勘探大队地震队在江苏徐州贾汪首次将其用于煤田地质勘探。

20世纪30年代到50年代,使用光点地震仪记录,50年代初开始推广模拟磁带地震仪,70年代,模拟磁带地震仪记录又被数字地震仪记录所淘汰。仪器设备的不断更新,推动了反射波法的发展。早在20世纪30年代就已提出的共中心点CMP或共深度点CDP叠加法,直到计算机技术发展、数字地震仪问世后,才得以推广,并成为反射波法地震勘探的标准工作方法。

20世纪70年代以来,反射波法进入了一个新阶段。它在采用高分辨率地震勘探、三维地震勘探、横波地震勘探及垂直地震剖面法(VSP)等新技术解决复杂地质构造的同时,还从反射波中提取速度、振幅、波阻

抗等信息,进行盆地层序分析、岩相与沉积环境分析及含油气评价等方面的研究工作。

**原理** 用人工方法在地面激发的地震波,在向地下传播过程中,遇到波阻抗(岩石密度 $\rho$ 与地震波速度 $v$ 的乘积)界面(反射界面),部分能量形成反射波返回,为地面检波器所接收,并被地震仪记录下地震波双程旅行时 $t_0$ 。如果已知反射界面以上岩层地震波的传

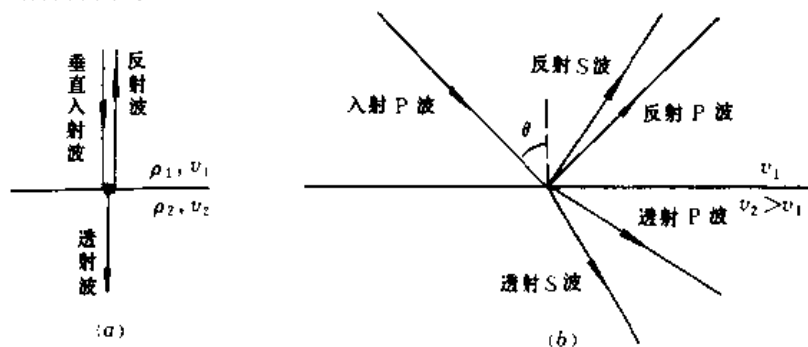


图1 地震波在水平界面上的反射与透射

a—垂直入射; b—倾斜入射;

$v_1$ 、 $v_2$ —地震波在反射界面上、下介质中的传播速度;

$\rho_1$ 、 $\rho_2$ —反射界面上、下岩层的密度

播速度 $v$ 和,则反射界面的埋藏深度 $h$ 可按 $h = \frac{1}{2}vt_0$ 求得。

反射波的振幅决定于反射系数 $r$ (反射波与入射波位移振幅的比值)。当地震波垂直入射时(图1a)

$$r = \frac{\text{反射波振幅}}{\text{入射波振幅}} = \frac{\rho_2 v_2 - \rho_1 v_1}{\rho_2 v_2 + \rho_1 v_1}$$

非垂直入射,则要复杂得多(图1b)。

地下每一个波阻抗变化界面,包括地层界面,不整合面,断层面及煤层顶、底界面,都可以产生反射波。根据来自反射界面的反射波回程时间、振幅和波形特征,即可获得地下岩层的构造形态和岩性、岩相信息。

**方法** 常规反射波法观测系统(测线上激发点与各接收点的相对位置关系)的主测线垂直岩层走向,呈网状布置。测网密度随勘探地质任务和精度而定。最小

炮检距(又称偏移距,从震源到检波器或检波器组中心点的距离)小于最深目的层的埋深。陆上勘探以炸药震源为主,辅以可控震源及落重震源,用12~1024道等多道数字地震仪记录。由于地震反射波总在众多干扰的背景上出现,常采用滤波、检波器组合和多次叠加技术,以压制多次反射波(反射多于一次的地震能量)、面波(又称地滚波,沿地表或近地表传播的地震能量)、随机噪声,改善时间剖面质量。其中,共中心点多次叠加(又称多次叠加、多次覆盖、水平叠加,将同一中心点各地震道的反射波经静校正、动校正后相加,以抑制随

机干扰及多次波等规则干扰)已成为反射波法的基本技术,其观测系统和原理如图2。岩层接近水平时,反射点位于炮点(激发点)S至接收点R连线中点M的正下方A点,通过适当的方法移动炮点和接收点而始终保持中心点M不变(此点称共中心点CMP)。此时,各接收点先后获得的信号皆来自同一反射点A(称共反射点或共深度点CDP)。具有共反射点的所有记录道称共中心点道集或共深度点道集、共反射点道集。当地层倾斜时,虽然反射点分散,仍可以组成共中心点道集,获得相近的结果。

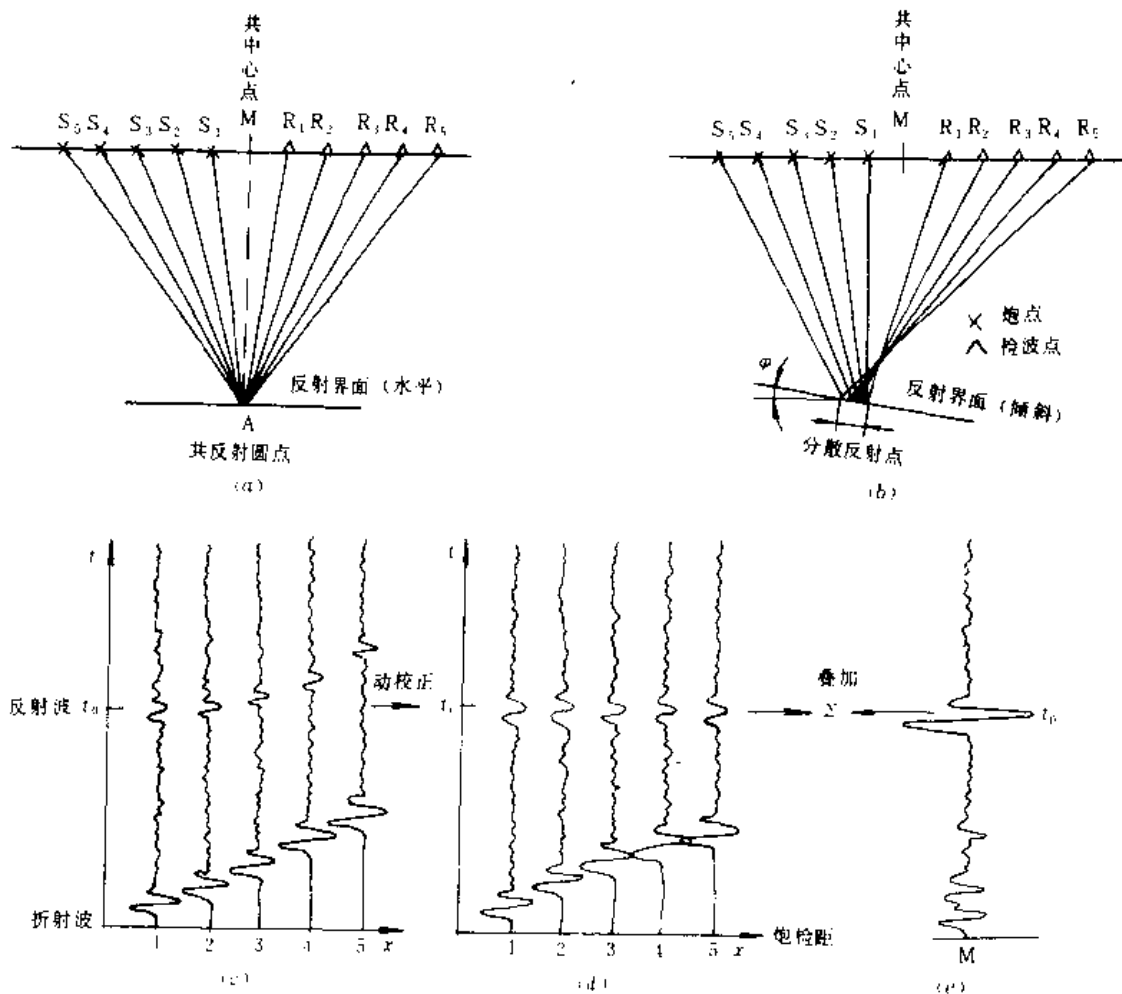


图2 多次叠加原理图

a—界面水平时,多次覆盖情况;b—界面倾斜时,多次覆盖情况;c—共中心点道集 CDP;  
d—动校正后共中心点道集 CDP;e—共中心点叠加道

**数据处理** 用计算机处理反射波法数据可获得水平叠加剖面及叠后偏移剖面。数据处理包括:①对单炮记录进行编辑,并剔除坏炮坏道;②作静校正消除地形起伏、近地表低速带及激发孔深不一致的影响;③进行滤波及反褶积(消除大地滤波作用及消除道间的不

致、震源波形和强度变化等);④从单炮记录中抽取 CDP 道集,在道集内提取速度信息、作剩余静校正,提高相干性;⑤由于同一道集内各道的偏移距不同,其旅行时不等,经过动校正(即正常时差校正)后,把各道一次反射的信号对齐并叠加在一起,即获得一道一次



反射相对增强的自激自收道,组成水平叠加剖面。对于产状倾斜和弯曲的岩层,水平叠加剖面不能真实反映岩层构造形态,需经偏移处理使绕射能量收敛,将反射界面归位到它的真实位置上。

**资料解释** 地震时间剖面是反射波法资料解释的依据;反射波的对比追踪是资料解释的基础。选择一两个或几个振幅强、波形特征明显、连续性好的反射波,对它们进行对比追踪,再结合研究剖面上的绕射波、回转波等异常波以及反射波的运动学与动力学特征,便可识别断层、褶曲、不整合、超覆、退覆等地质现象。

反射波资料解释包括构造解释及地震地层、地震岩性解释(见地震勘探资料解释,地震地层学,煤系地震地层学)。

地震反射波法的分辨率(分辨相邻地质体的能力)约等于反射波波长的 $1/4$ 。它随勘探深度的增大,地震波传播速度增大、频率降低和波长增大而降低。目前,在理想条件下,探明的构造起伏误差在 $3\sim 6\text{m}$ 范围内,可确定落差 $10\sim 15\text{m}$ 甚至更小的断层。

(刘天放)

fanxunhuan zuanjin

## 反循环钻进 (reverse circulation drilling)

使冲洗介质由钻具与孔壁之间的环状空间流向孔底,携带岩屑再由钻具内孔返回地表的钻进方法。与这种循环方式相反的传统循环方式称为正循环。

正循环时,冲洗介质在孔底的流动方向与岩心进入岩心管的方向相反,易冲毁并带走一部分破碎的岩心。反循环则与之相反,能起到保护岩心,提高岩心采取率的作用。在钻大直径钻孔时,钻杆外壁与孔壁之间的环状空间断面很大,采用正循环,冲洗介质上返速度很低,很难将岩屑排除干净;而反循环时,冲洗介质由钻杆内返回,流速较高,携带岩屑的能力也较强,甚至可将直径为 $100\text{mm}$ 左右的卵石带出钻孔。此外,与正循环比较,反循环还具有四个优点,①孔底干净,避免岩屑二次破碎,可提高钻效;②驱动冲洗介质循环所需的泵压较小;③孔壁容易维护,特别是使用双壁管反循环钻进,可减少冲洗介质漏失;④钻进松软岩(土)层能大幅度降低钻探成本。

地质钻探中常用一种孔底局部反循环钻进。实质上它是正循环与反循环的结合,即使用专门的钻具,在粗径钻具以上进行正循环,只在粗径钻具部位采用反循环。这种方法可以收到反循环提高岩心采取率的效果,而使用的设备又比全孔反循环简单。在生产中被广泛用于松散、破碎岩(土)层的钻进。

**种类** 目前生产中应用的反循环钻进方法很多,

有:泵吸反循环、射流反循环、气举反循环、中心采样反循环和水力输送岩心反循环等。

**泵吸反循环** 将砂石泵的进水口通过软管与钻杆上端的水龙头相连,砂石泵工作时,在其进水口形成负压,而孔口钻杆外面的冲洗介质则处在大气压的作用下,产生的压力差使冲洗介质反循环流动。由泵排出的冲洗介质经除砂和沉淀后以自流方式补入孔内。试验表明,在孔深小于 $45\text{m}$ 时,用泵吸反循环钻进效率较高。随着孔深的增大,泵的排量逐渐减小,钻进效率也随之下降。在孔深超过 $70\text{m}$ 后,虽然也能工作,但效率很低。因此,这种方法适用于钻进直径很大而深度较小的水井或各种工程基桩钻孔。

**射流反循环** 又称喷射反循环,与泵吸反循环不同之处是,它利用高能流体经过安装在循环管路中的带喷嘴和扩散器的射流泵(或喷射元件)所造成的负压来使冲洗介质反循环流动。射流泵所需的高能流体由高扬程离心泵或往复泵供给。这种反循环也适用于钻进浅孔。但在岩心钻探中,常用一种喷射式反循环钻具(简称喷反钻具)进行孔底局部反循环钻进。此时,喷射元件装在岩心管上端,可在较深钻孔中使用。

**气举反循环** 又称压气反循环,所用钻具分上、下两部分,上部为双壁钻杆,下部为单壁钻杆(又称尾管),其间用气-水混合器(气举接头)相连。压缩空气不断地通过双壁钻杆内、外管之间的环状通道送至气-水混合器,使空气与钻杆内的冲洗液混合,形成相对密度较小的混气液柱,与钻杆外面的液柱之间产生压力差,在此压力差的作用下形成反循环,使内钻杆中的混气液体携带岩屑排出孔外。混气液中的气泡在上升过程中由于外界压力逐渐减小而不断膨胀,使混气液上升的速度越来越快(压缩空气的膨胀功转化为液体的动能)。这种方法在开孔阶段不能使用,必须待气-水混合器下入一定深度(一般孔深超过 $25\text{m}$ ),整个管路内、外液柱产生足够的压力差,才能形成反循环。只要空气压缩机的压力足够,这种方法的适用孔深不限。

**反循环连续取心钻进** 国外称CSR法(Center-Sample Recovery)。该方法用压缩空气或空气泡沫流体作为循环介质,通过双壁钻杆内、外管之间的环状间隙,将冲洗介质送入孔底,再由内管返回地面。所用钻具的连接方式是,气-水龙头-双壁钻杆-专用接头-牙轮钻头或潜孔锤。其中,气-水龙头有两个通道,一为进气通道,一为排出通道。专用接头有导流接头和交叉通道接头两种,导流接头的作用是,将在内、外管间环状间隙中循环的冲洗介质,导向钻头与孔壁间的环状间隙,经孔底后沿牙轮钻头中心孔上返进入中心通道。交叉通道接头可使循环的冲洗介质先在孔底进行

局部正循环冲洗孔底后再变为反循环排除岩屑, 牙轮钻头和潜孔锤都可采用。这种方法, 可以实现边钻进, 边冲洗钻孔, 边采样的“三边一体化”连续钻探, 改变了传统的钻进和采样截然分开生产流程, 在中硬以上岩层中钻进, 可使钻探效率大幅度提高, 成本显著下降。

**水力输送岩心反循环** 这种方法与 CSR 法相似, 不同之处在于, ①循环冲洗介质为清水或泥浆; ②采取样品不只是岩屑, 还可以是岩心 (在完整岩层); ③除使用双壁钻杆外, 在比较稳定的不漏水岩层中, 还可采用单壁钻杆, 使钻具结构简化 (此时需配备孔口密封装置); ④主要用于钻进中硬以下的岩层。

这种方法的优点是, ①钻进效率高; ②岩心采取质量好; ③用双壁钻杆可在漏失岩层和缺水地区钻进; ④在含水层或含油 (气) 层钻进, 可避免泥浆对孔壁的堵塞, 保持其原有的自然渗透率。但是, 这种方法在钻进深度和所适应的岩层方面有一定的局限性, 还不能完全代替普通岩心钻进。

#### 参考书目

李贵忠等, 《钻探工艺学》下册, 地质出版社, 1989。

(郭忠礼)

fongshexingceijing

**放射性测井** (radioactivity logging) 又称核测井, 测量钻孔剖面上岩石天然或次生放射性射线强度的地球物理勘探方法。煤田地质勘探中常用的核测井方法主要有  $\gamma$  测井、密度测井、低能  $\gamma$ - $\gamma$  测井、中子测井等。放射性测井既可在有冲洗液的钻孔中使用, 也可在具有套管的钻孔或无冲洗液的钻孔中使用。它能准确地划分煤层与岩层; 确定各煤种煤层的深度、厚度与结构; 对比煤、岩层; 解决某些水文地质问题; 估计煤层中的灰分含量; 与其它测井方法配合, 可以获得岩石力学性质以及煤层中水分、含碳量等信息。

中国 1958 年开始在煤田地质勘探中应用放射性测井, 现已成为煤田地质勘探中必不可少的测井方法。放射性能谱测井是放射性测井技术发展的重要方向, 它根据不同元素的能谱特性, 可区分和测定岩石中的多种元素及其含量, 又称地球化学测井。

**$\gamma$  测井** 首称自然伽马测井, 测量钻孔剖面岩石中放射性元素放射出的  $\gamma$  射线强度的物探方法。各种岩石都多少含有能放射  $\gamma$  射线的放射性元素, 并以  $^{40}\text{K}$ 、铀系与钍系元素为主。 $\gamma$  测井装置是由能接收  $\gamma$  射线的探测器 (包括 NaI 晶体与光电倍增管组成的闪烁计数器) 及相应的电子电路构成的井下探管。

在含煤岩系中, 一般以煤的放射性元素含量最低

(含铀煤除外); 石灰岩中放射性元素含量也很低; 砂岩随其粒度变细, 放射性元素含量逐渐略有增加; 泥岩因具有较强的吸附能力, 放射性元素含量相对较高。因此,  $\gamma$  测井曲线可用来估计沉积岩中的泥质含量。在  $\gamma$  测井曲线上, 煤层部位以低幅值为其特征。煤层中的灰成分一般吸附放射性元素的能力较高, 随着灰成分含

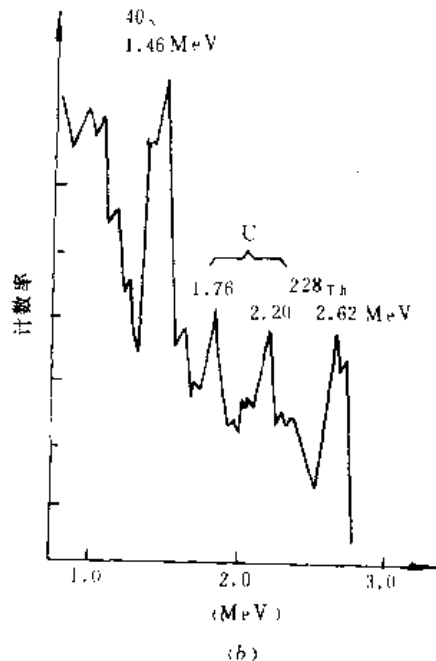
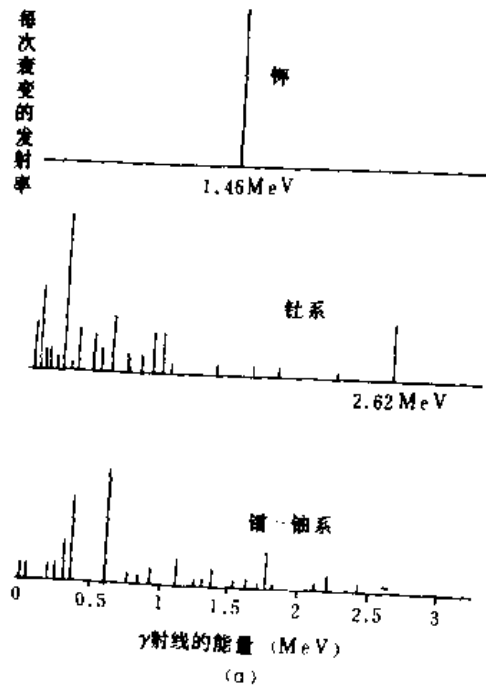


图 1 放射性能谱

a—放射性元素的  $\gamma$  射线能谱; b—沉积岩的  $\gamma$  射线能谱

量的增加,煤层的 $\gamma$ 强度相对增大。由于这种相关关系多表现为线性关系,因而可用 $\gamma$ 测井估算煤层的灰分含量。煤层的 $\gamma$ 强度较弱,放射性测井中固有的统计涨落误差相对较大,定量估算煤层灰分含量需严格控制测井技术条件和作好环境因素校正。

不同探测器对 $\gamma$ 射线的灵敏度不同。为对比用不同仪器测得的资料,须将仪器记录到的相对强度换算到标准单位。换算用的校准系数由放置在已知强度的标准校准井(又称刻度井)中的仪器测量得到。煤田 $\gamma$ 测井中使用的标准单位有API(美国石油学会) $\gamma$ 单位与等效 $U_3O_8$ (e $U_3O_8$ )含量单位,中国煤田 $\gamma$ 测井中更多地使用API $\gamma$ 单位。

$\gamma$ 测井曲线在目的层处对称于该层的中心。高放射性岩层中点处的测井曲线呈现极大值,该极大值与岩层中所含放射性元素的含量成正比。当岩层厚度不

足钻孔直径 $1/3$ 时,该极大值将受低放射性围岩的影响而有所减小。在有冲洗液的钻孔中测量时,一般测得的 $\gamma$ 强度随孔径增大而有所降低;而当钻孔中无冲洗液时,孔径变化则对 $\gamma$ 强度影响不大。钻孔内设置的套管通常会使 $\gamma$ 强度降低。在岩层较厚时, $\gamma$ 测井曲线的半幅点对应于目的层界面。

**$\gamma$ 能谱测井** 分别记录不同能量的 $\gamma$ 射线强度的一种测井方法。岩石中的主要放射性元素 $^{40}K$ 、铀系元素、钍系元素等放射出的 $\gamma$ 射线,具有各自的特征能量(图1)。据此,可用能谱测井区分岩石中所含放射性元素的种类,从而研究岩石中所含泥质的矿物成分;分析沉积环境和对比地层。选用较少能谱测量道来区分 $^{40}K$ 、铀和钍的能谱测井,又称钾铀钍(KUT)测井(图2)。

**密度测井** 又称 $\gamma$ - $\gamma$ 测井、散射 $\gamma$ 测井或人工 $\gamma$ 测井,记录钻孔剖面岩石对放射源射出的 $\gamma$ 射线的吸收与散射情况的一种测井方法。其孔中仪器为探管,其内放置有一个中等能量的 $\gamma$ 射线源,距 $\gamma$ 射线源一定距离安装 $\gamma$ 射线探测器(图3)。

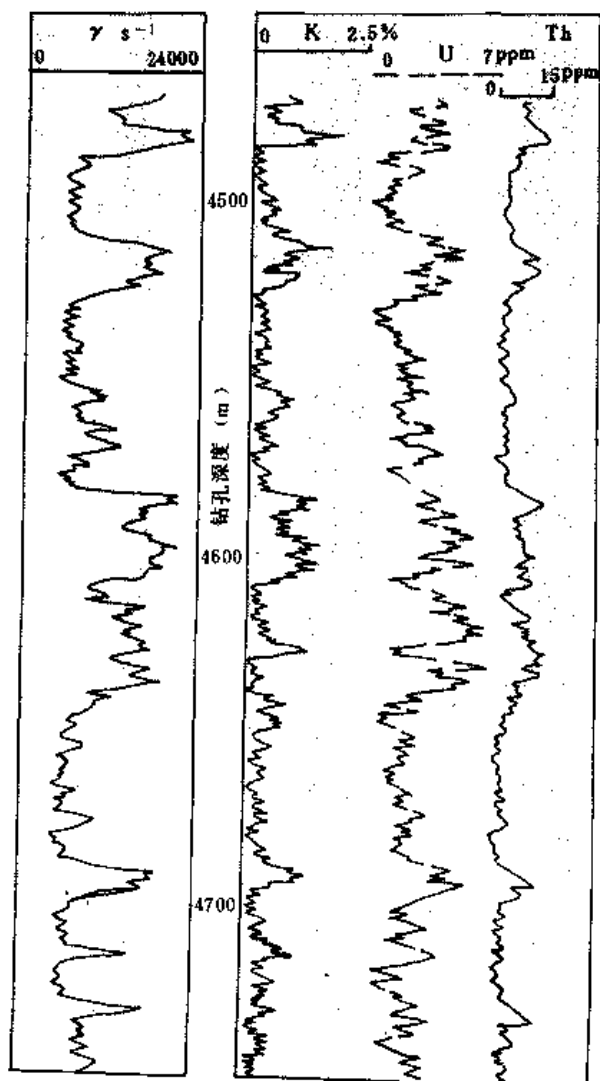


图2  $\gamma$ 测井(左)与KUT测井(右)曲线

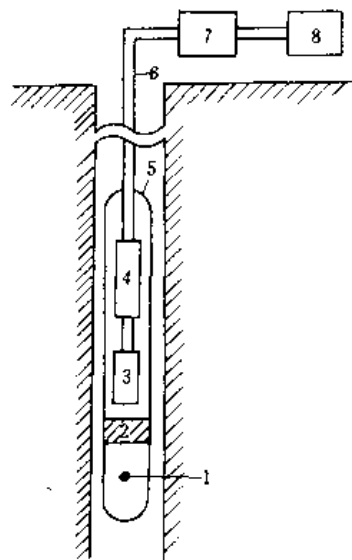


图3 密度测井示意图

1— $\gamma$ 源; 2—屏蔽; 3—探测器; 4—电子电路;  
5—探管外壳; 6—电缆; 7—地面控制仪器; 8—记录仪

中等能量的 $\gamma$ 射线射入岩层后,主要与岩石中的电子产生康普顿—吴有训效应, $\gamma$ 射线与岩石中的电子碰撞后,电子获得一部分能量,损失部分能量的 $\gamma$ 射线改变飞行方向,出现散射。由于发生康普顿—吴有训效应的概率主要与物质单位体积中的电子数量有关,因而测出的散射 $\gamma$ 强度 $J_{\gamma}$ 能反映岩石的密度 $\delta$ ,其近似关系式如下



$$J_{\gamma\gamma} = KQe^{-\mu L}$$

式中  $Q$  为放射源的强度 (简称源强), 即单位时间内放射出的  $\gamma$  射线数量;  $\mu$  为散射  $\gamma$  射线的吸收系数;  $L$  为源距, 即放射源与探测器间的距离, cm;  $K$  为比例系数。

当源距足够大 ( $L > 10\text{cm}$ ) 时, 上述关系可进一步简化

$$\delta = C \lg J_{\gamma\gamma} \cdot D$$

式中  $C$ 、 $D$  为与源强  $Q$ 、源距  $L$ 、探测器灵敏度等有关的常数, 称校准系数或刻度系数。

通过在已知物质密度的刻度井或刻度模块上测量可得到不同仪器各自的校准系数  $C$ 、 $D$ , 并据以将从钻孔中测得的散射  $\gamma$  强度  $J_{\gamma\gamma}$  转换成岩层密度  $\delta$ 。

密度测井所采用的源距越大, 对岩石密度变化的灵敏度和探测范围也越大, 但划分薄岩层的垂向分辨率则有所降低。根据源距大小, 密度测井可分为长源距  $\gamma$ - $\gamma$  测井 (LSD, 源距为  $0.35 \sim 0.50\text{m}$ )、短源距或高分辨率  $\gamma$ - $\gamma$  测井 (HRD, 源距为  $0.20 \sim 0.25\text{m}$ ) 和超短源距或层分辨率  $\gamma$ - $\gamma$  测井 (BRD, 源距为  $0.14\text{m}$  左右)。长源距  $\gamma$ - $\gamma$  测井主要用于划分岩性剖面; 另两种方法主要用于详细研究煤层结构。降低放射源能量, 对岩石密度探测的灵敏度可略有提高。源距短则应选用能量较低的放射源。目前煤田地质勘探中常用的放射源是  $^{137}\text{Cs}$  和  $^{60}\text{Co}$ 。选用放射性强度大的放射源, 可较好地抑制岩石中放射性元素产生的  $\gamma$  射线对密度测井的干扰, 降低统计涨落误差; 但从人身安全考虑, 则应尽量减小源的放射性强度。根据地质任务合理选择源种、源距、源强, 是获得密度测井良好曲线的关键。

$\gamma$ - $\gamma$  测井曲线对称于目的层中心, 在目的层厚度大于源距的情况下,  $\gamma$ - $\gamma$  测井曲线的  $\frac{1}{3} \sim \frac{2}{5}$  幅点对应于目的层的界面。为减小孔径与冲洗液的影响, 提高曲线的分层能力,  $\gamma$ - $\gamma$  测井的探管通常配有推靠装置和瞄准装置, 使放射源与探测器紧贴孔壁, 并具有一定发射角度和接收角度。

各煤种的煤与几乎所有岩石的密度存在较大差异, 煤层在密度测井曲线上一般均有明显的低密度显示, 易于识别, 因而,  $\gamma$ - $\gamma$  测井成为煤田测井中最重要和最常用的方法之一。通常, 煤的密度与煤的灰分含量之间存在线性相关关系, 用  $\gamma$ - $\gamma$  测井估算煤层的煤灰分含量已成为常用的方法之一。在沉积岩中, 岩层中水的密度比岩石骨架成分的密度要小得多, 因而常用  $\gamma$ - $\gamma$  测井确定岩层中水的体积含量、孔隙度值。

**补偿密度测井** 能消除或减小孔壁泥饼或孔壁不光滑所造成影响的密度测井。其特点是, 在探管内放射

源同侧安放两个源距长短不同的探测器, 分别记录该放射源射出的  $\gamma$  射线经岩石后散射的  $\gamma$  强度, 由电子电路或软件综合长、短源距探测器的测值, 通过补偿运算, 求出较精确的岩石密度。这一方法在煤田地质勘探中已广泛使用。

**脊肋图** 分别以相同探测点上的长源距探测器密度测值和短源距探测器密度测值为纵、横坐标绘出的图件 (图 4)。当探管所贴靠孔壁无泥饼或孔壁平坦时, 长、短源距探测器测得的密度值相等, 在图上呈  $45^\circ$  直线, 称脊线。当孔壁有泥饼存在或孔壁不平时, 会造成探管贴靠孔壁不佳, 孔壁与探管间隙中的物质 (泥饼或冲洗液) 将对其有不同探测范围的长、短源距探测器的密度测值产生不同的影响, 使长、短源距探测器测得的密度值不相等, 其交会点在图上偏离脊线。煤田地质勘探中使用的冲洗液密度通常小于岩石的密度, 长、短源距探测器测得的密度均会小于岩石密度, 且短源距探测器测值更小。在相同岩石密度条件下, 随着探管与孔壁的间隙的加大, 图上的交会点偏离脊线越远, 形成一条曲线, 称肋线。泥饼或冲洗液的密度不同, 其肋线也有差别。

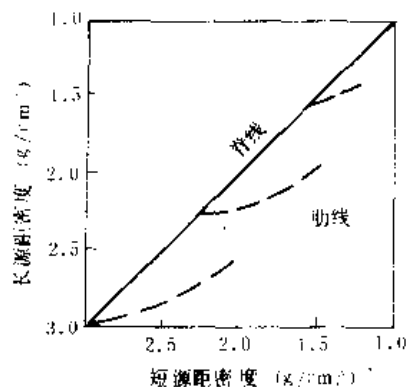


图 4 脊肋图

**补偿** 将长、短源距探测器测得的密度值在脊肋图上的交会点, 沿所在的肋线追踪到脊线, 得到代表所测目的层密度的过程。通常用指数函数或高次多项式函数拟合肋线, 借助求解拟合肋线函数的方程来完成补偿。

**低能  $\gamma$ - $\gamma$  测井** 又称选择  $\gamma$ - $\gamma$  测井, 采用低能量  $\gamma$  射线源的  $\gamma$ - $\gamma$  测井方法。用低能量  $\gamma$  射线照射岩层时,  $\gamma$  射线与物质作用除有康普顿效应外, 还有较强的光电效应, 尤其是遇到重元素时, 光电效应大大超过康普顿效应。当  $\gamma$  量子与在原子核外绕行的电子作用时, 它将把全部能量交给电子, 使电子脱离原子核束缚成为自由电子 (即光电子), 而  $\gamma$  量子则因能量耗尽被原子吸收, 这种现象叫光电效应。发生光电效应的概率主要

与物质的原子序数有关。原子序数越大的物质,发生光电效应的概率也越大,低能 $\gamma$ - $\gamma$ 测井在沉积岩中测得的射线强度,不仅与岩石密度有关,而且与岩石中所含的元素种类及其含量有关。选用不同能谱成分的低能量 $\gamma$ 射线源和不同的能谱探测范围,可区分岩石中不同元素特别是重元素的含量。煤田地质勘探中主要使用能量极低的 $^{241}\text{Am}$ 源,并采用较小源距,以利于识别煤层,精细确定煤层结构,确定煤层中灰分含量。当采用双源距方式,并在测量与处理上采取一定措施时,可将岩石密度信息与岩石等效原子序数(用光电俘获截面来描述)分离开来,这种测井方法称岩性密度测井(LDT)。

**中子测井** 使用中子源,记录钻孔剖面上与岩石作用后的中子或其所产生的次生 $\gamma$ 射线强度的放射性测井方法。中子测井使用的中子源有连续发射的中子源和可控脉冲发射的中子源两类。当探测器接收的是中子时,称中子中子测井;而探测器接收的是次生 $\gamma$ 射线时,则称中子- $\gamma$ 测井。这两种测井的结果主要反映岩石中氢元素的含量,在煤田地质勘探中主要用以识别氢含量较高的煤层和含水层以及估算煤层挥发分、岩石孔隙度、含水性及渗透性等。

**中子源** 在 $(\alpha, n)$ 核反应中能产生并发射中子,供测井时轰击孔壁岩层的某些放射性同位素。 $(\alpha, n)$ 核反应表示用放射性同位素衰变时产生的 $\alpha$ 粒子,去轰击某一靶核(通常是 $^9\text{Be}$ )产生中子的核反应。测井中常用的中子源有 $\text{Po}-\text{Be}$ 和 $\text{Am}-\text{Be}$ 中子源等。 $\text{Po}-\text{Be}$ 源因其半衰期较短,伴生 $\gamma$ 射线较强,逐渐被 $\text{Am}-\text{Be}$ 源代替,但后者价格较昂贵。 $^{252}\text{Cf}$ 等重放射性同位素在自然裂变时能放出中子,且其半衰期不太短,中子产额很高,也用作测井的中子源。根据加速器原理制成的中子发生器,可在人为控制下周期性发射脉冲式中子流,在可控性与间歇性方面,它与上述诸多不可控的连续中子源有本质区别。用作测井中子源的中子发生器(又称中子管),其产生的中子能量高、能谱简单,又便于防护,正受到测井界的重视,但由于受制造技术限制,目前尚很少在煤田地质勘探中实际应用。

**中子- $\gamma$ 测井** 中子源发射的快中子射入钻孔孔壁岩层后,因与岩层作用减速变成的热中子,被岩层各种元素原子核俘获时,记录其产生的 $\gamma$ 射线的一种中子测井方法。一般岩层中的氢原子核对中子的减速作用最大,氢、氯原子核俘获热中子能力很强,中子- $\gamma$ 测井主要反映岩石中的氯元素的含量(通常岩石中氯与其它对中子减速或俘获作用较大的元素的含量均很低),可用这种方法来确定岩石的孔隙度和含水性。

**中子中子测井** 钻孔中中子源发射的快中子经减

速成超热中子或热中子后,记录在探测器附近超热中子或热中子浓度的一种中子测井方法。它主要反映岩石中的氢含量。由于它使用了中子探测器,可消除岩石与中子源本身发射的 $\gamma$ 射线的影响。当仅记录超热中子时,由于不受热中子俘获作用的影响,还可消除氯元素的干扰,可更准确地确定岩石中的氢含量。

中子中子测井仅须在刻度井内校准,求得校准系数,以便将测井结果标定为岩石的孔隙度。一般认为,热中子密度与岩石含氢指数之间的近似关系可由下列多项式表示:

$$\lg \Phi = aJ_m^3 + bJ_m^2 + cJ_m + d$$

式中 $\Phi$ 为岩石含氢指数; $J_m$ 为记录的热中子(或超热中子)密度; $a, b, c, d$ 为校准系数。

实践表明,当岩石含氢指数 $\Phi$ 不大时,该关系可进一步简化成线性关系:

$$\lg \Phi = cJ_m + d$$

刻度井内的岩层是各种已知孔隙度的石灰岩。根据校准系数得出的含氢指数,是将岩石的孔隙度视同石灰岩的等效孔隙度,又称视石灰岩孔隙度。要获得岩石的真孔隙度,应对含氢指数作岩性校正。中子中子测井曲线对称于目的层中心。一般在含煤岩系中,以煤层的含氢指数最大,在测井曲线上呈现明显的大幅度正异常;泥岩的含氢指数次之;其它沉积岩的含氢指数与其真孔隙度相差不大(图5)。

**快中子非弹性散射 $\gamma$ 能谱测井** 又称碳氧比测井,在钻孔中中子源发射脉冲中子流后瞬间,测量非弹性散射 $\gamma$ 射线的能谱与强度的一种中子测井方法。高能快中子轰击地层时,在最初的 $10^{-8} \sim 10^{-7}$ 秒内,主要发生非弹性散射,即原子核吸收中子的部分能量而跃升至激发态。原子核由激发态回到基态时放出的 $\gamma$ 射线即非弹性散射 $\gamma$ 射线。不同元素的原子核发生非弹性散射的概率(用非弹性散射截面描述)不同,产生的非弹性散射 $\gamma$ 射线的能谱也不同。用脉冲中子源发射脉冲中子流后很短的瞬间内,测量非弹性散射 $\gamma$ 射线的能谱与强度,可区分岩层中某些元素及其含量。通常测量由碳、氧、钙、硅等元素产生的非弹性散射 $\gamma$ 射线,分别获得碳、氧含量及碳、氧含量比值;钙、硅含量比值等。在煤田地质勘探中,可用于识别煤层与判断煤质。

**中子俘获 $\gamma$ 能谱测井** 中子源发射的快中子射入钻孔孔壁岩层减速变成的热中子被岩层中不同元素的原子核俘获后,记录其发出的俘获 $\gamma$ 射线的特征能谱的一种中子测井方法。用多道能谱分析设备记录俘获 $\gamma$ 射线能谱,可判断岩层中C、H、S、Si、Al、Fe、K、Ca、Na、Mg、Ti、Cl、V、Mn、Cr、U、Th、Sm、Gd

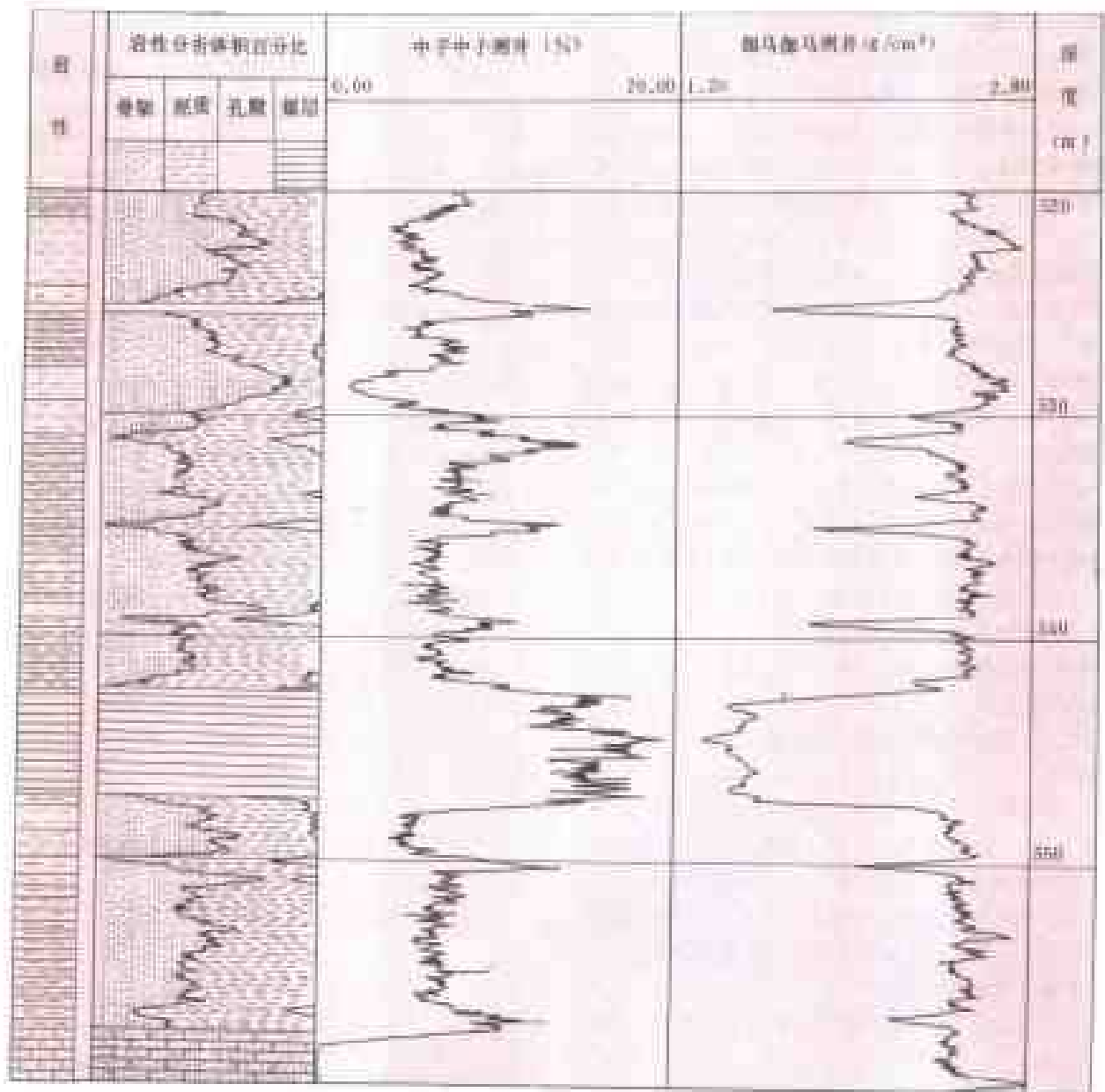


图5 煤层在中子中子测井曲线中显示的大幅度正异常

等元素及其含量,通过计算,还可得出上述元素相应的氧化物及矿物成分。为尽量提高所探测 $\gamma$ 射线能谱的分辨率,需选用具有高分辨能力的高纯锗等 $\gamma$ 探测器。高纯锗必须在低温条件下工作,仪器须配备制冷装置。美国和中国已先后制出能用于实际测井的中子俘获 $\gamma$ 能谱测井仪器。

(刘家瑾)

### fangshui shiyan

**放水试验** (outflow test) 利用孔口(涌水点)标高低于地下水水位标高的有利条件,让水自由溢出钻孔,同时观测其流量及放水孔与观测孔水位变化

情况的水文地质试验方法。它是不用抽水设备降低水头的试验。其目的是测定含水层水文地质参数,评价含水层的富水性,查明矿床水文地质条件,为预计矿井(坑)涌水量,确定地下水防治和利用方法提供依据。

放水试验可分为地面放水试验和矿井井下水放水试验。地面放水试验又称涌水试验,主要用在煤田水文地质勘探阶段,由于它简单易行,常作为大致了解含水层富水性和勘探区水文地质特征的一种手段。矿井井下水放水试验主要用于水文地质条件复杂的矿区,作为矿井防治水和矿井(采区)疏干试验的手段。此外,在煤炭资源精查勘探或专门水文地质勘探中,当勘探区浅部或邻近有生产矿井时,也可利用生产矿井在井下放

水、在地面打观测孔的方法,来查明勘探区水文地质条件,取得比用地面钻孔抽水更好的试验成果。

地面放水试验多为单孔放水,一般都利用煤田勘探中的各类涌水钻孔进行;当抽水试验孔是涌水孔时,在抽水试验前也可以考虑先作放水试验。矿井井下放水试验可以是单孔放水,也可以是群孔或孔组放水。在水文地质条件比较复杂的矿井,一般采用群孔或孔组放水,放水孔布置在井下,观测孔既可布置在井下,也可布置在地面,或者地面和井下均设置观测孔联合观测。由于矿井井下放水位降深值大,可以获得与实际开采时地下水流场接近的水文地质试验资料,其成果的针对性强,精度也较高,但施工难度往往较大,费用也较高。

矿井井下放水孔在技术上有一些特殊的要求,应根据放水试验目的、含水层的富水性、矿井排水能力等因素确定放水孔孔位、孔数和孔径以及放水水量等。放水孔孔口安装套管并封孔止水。在揭露含水层以前,孔口应安装防喷装置(安全阀门和压力表),以保证放水安全和控制放水量与水压。井下放水孔按放水方式可分为地面直通式、井下水平孔(或水平石门)式和井下直孔式。地面直通式钻孔适用于在距地面不很深的放水硐室或开采水平,放煤层顶、底板含水层的水,这种钻孔必须打到井下预定位置,施工难度较大;井下水平孔(或水平石门)适用于在各种井巷排放工作面方含水层(带)的水;井下直孔式钻孔适用于煤层底板含水层放水。地面直通式钻孔所在石门顶板应留有可靠的防水岩柱;井下水平孔或垂直孔孔口至含水层(带)间也应留有可靠的防水岩柱。

放水试验前,特别是群孔和孔组放水试验前,应编制专门设计。

放水试验的步骤、观测孔的布置原则、技术要求以及试验成果内容与抽水试验的相似。放水试验前,先观测放水孔及观测孔的静止水位(压),了解在自然流场状态下各个钻孔的日变幅及变化过程。放水试验相当于定降深抽水试验。放水开始时段及恢复水位阶段的资料可用作非稳定流计算。放水试验最大降深一般等于放水孔最大放水量时的水位降深,另两次降深分别接近于最大降深的 $2/3$ 和 $1/3$ 。降深的改变可通过调节放水孔孔数或调节放水孔阀门来控制。延续时间及稳定时间,根据放水目的和试验场水文地质条件以及流量与降深历时曲线的特征确定。中心水位或水压应与放水量同步观测。

(高洪烈)

## Fushun Meitian

**抚顺煤田** (Fushun Coalfield) 中国著名的第三纪煤田。它位于辽宁省抚顺市,东西长18km,南北宽2~4km,面积36km<sup>2</sup>(下页图)。产气煤及长焰煤,近百年来开发很盛,煤炭资源目前已所剩不多。

**地质构造** 抚顺煤田为一轴向近东西的不对称向斜,北翼陡(倾角30°~60°),南翼缓(倾角15°~30°)。向斜构造由下第三系组成,基底为前震旦系变质岩及白垩系火山碎屑岩,地表为厚0~30m的第四系覆盖。下第三系赋存深度不超过600m,该系的主要构造型式为横切或斜交的平推正断层,另有与该系沉积同时时间歇喷发的玄武岩,对第三纪下部煤层有一定影响。

**煤系** 早第三纪抚顺群为煤田唯一含煤地层,岩性为陆相火山岩、火山碎屑岩、碎屑岩及煤层、油页岩层等,其地质时代为始新世至渐新世早期,下分四组,自下而上为:

始新世老虎台组(E<sub>1</sub><sup>1</sup>) 由玄武岩夹碎屑岩及煤层(B层煤)组成,厚50~100余米。

始新世栗子沟组(E<sub>1</sub><sup>2</sup>) 以凝灰质岩为主,夹砾岩、砂岩、页岩及煤层(A层煤),厚70~115m。

始新世古城子组(E<sub>1</sub><sup>3</sup>) 由泥岩、煤层、油页岩组成,巨厚煤层(本层煤)在下,巨厚油页岩层在上,全组厚137~985m。

渐新世耿家街组(E<sub>1</sub><sup>4</sup>) 由一套河、湖相褐色泥岩夹薄层砂岩组成,厚111~338m。

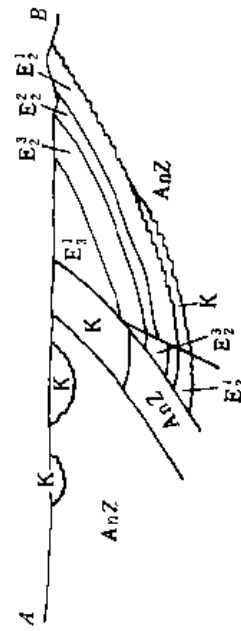
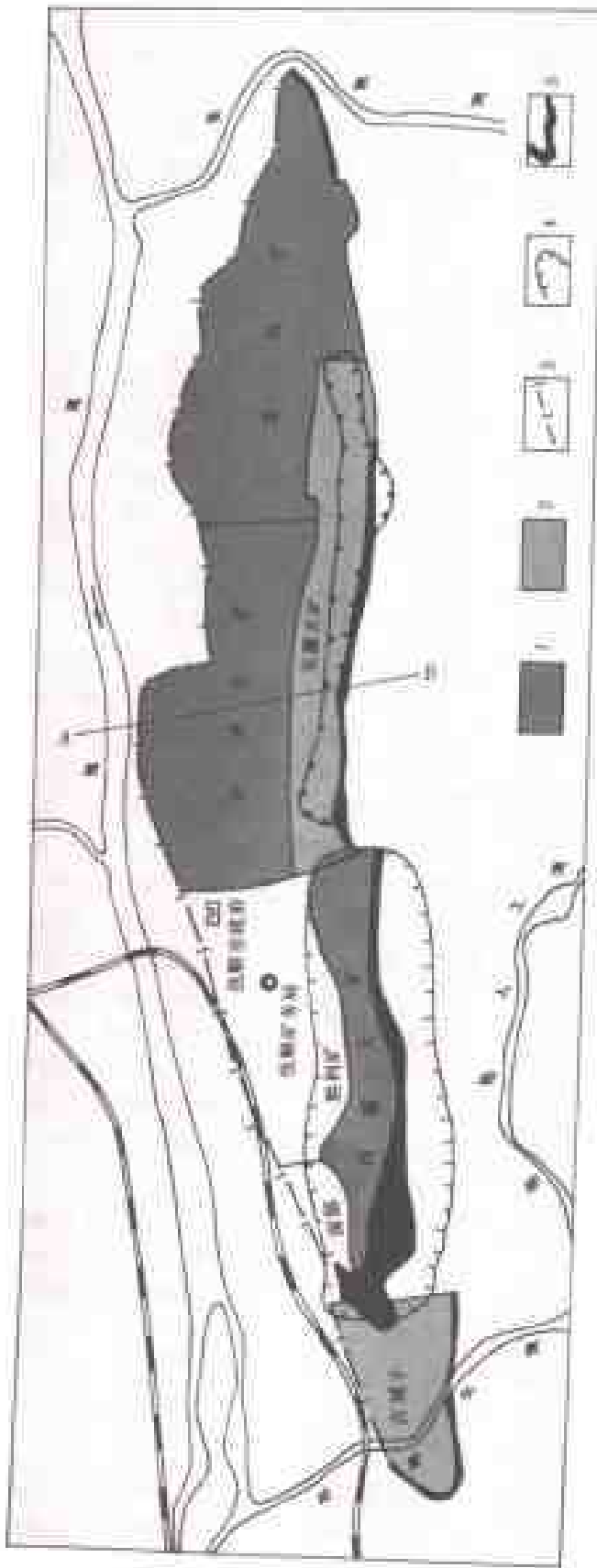
抚顺煤田抚顺群各煤层情况见下表。

抚顺群各煤层情况简表

| 组 别 | 厚度 (m)      | 平均厚度 (m) | 稳定性  |
|-----|-------------|----------|------|
| 本层煤 | 0.70~130.90 | 30.00    | 较稳定  |
| A层煤 | 0.30~11.80  | 1.80     | 较不稳定 |
| B层煤 | 0.70~27.34  | 7.22     | 较不稳定 |

**资源** 抚顺煤田煤炭资源量近1.4Gt,已全部探明,目前保有储量约0.7Gt,其中有0.12Gt为城市工厂压煤,不能开采。煤种除煤田西部为长焰煤外,煤田中、东部均属气煤。煤质一般为低灰、低硫,发热量较高,软化点亦高,适于配焦或作动力用煤。部分致密坚韧的块煤,可雕刻成工艺品,称“煤精”。煤系上部产厚层油页岩,其含油率为2%~10%,厚度一般近100m,已开发炼油。

**开采地质条件** 抚顺煤田南侧煤层厚、倾角平缓,适于露天开采;煤田中、北部虽为地下开采,但因煤层厚、构造和水文地质条件均较简单,一般说来开采条件



抚顺煤田示意图

1—生产区；2—建设、扩建区；3—煤田边界；4—露天矿边界；5—煤田露头

仍较优越。煤系内凝灰质岩石和煤层顶、底板泥质岩石工程地质性质不稳定,给露天开采带来严重的边坡问题。煤田内各矿井均属高瓦斯矿井、有瓦斯突出危险,煤层自然发火和煤尘爆炸亦易发生。

**开发概况** 在明代之前已有土法开采。到清末光绪年间,从1901年起,先有中国商人以中俄合股等形式在煤田南翼浅部采煤。1905年为日本强行占领,在以后的43年里,抚顺煤矿煤炭产量剧增,1923年产4.88Mt,成为中国暨东亚第一大矿,产量最高是在1937年,达9.24Mt。中华人民共和国成立后,在20世纪五六十年代,抚顺仍是中国最大的煤矿,以后随着煤炭资源的减少,部分矿井陆续终采报废,煤炭产量不断下跌。目前,煤田内主要的采煤企业抚顺矿务局产煤能力为8.40Mt/a,下辖西露天、龙凤、老虎台三个矿。①西露天矿,能力为3.60Mt/a。②龙凤矿南立井,能力1.80Mt/a。③老虎台矿斜井,能力3.00Mt/a。据规划,到2010年,西露天矿终采报废;2020年,龙凤矿南立井终采报废。煤田的东、西两端,还有地方煤矿作小规模开采,年产不超过0.10Mt,服务年限在20年以内。

(王煦曾)

#### funihuazuoyong

**腐泥化作用** (saprofication) 低等植物和浮游生物遗体在湖沼、潟湖和海湾等还原环境中转变成腐泥的生物化学作用。

影响腐泥化作用的因素有原始质料、聚积环境和水介质条件等。参与腐泥化作用的原始质料,主要是富含蛋白、脂肪的各种藻类和浮游微体生物,还有流水或风搬运来的高等植物残体,包括孢子、花粉、角质膜及木质纤维组织等的细小碎屑,有的还有鱼类、爬行动物、昆虫及其排泄物。适于低等植物和浮游生物发育的环境为湖沼中心、潟湖、海湾等水域。低等植物和浮游生物死亡后,其遗体常在水体停滞的盆地底部堆积起来,由于氧气进入困难及有机质产物过量,还原条件占优势;进氧水介质呈弱碱性至碱性,氧化还原电位Eh较低,厌氧细菌发育。

腐泥化作用的过程是,在湖沼中心、潟湖、海湾等水域的富氧水面上生长发育的低等植物和浮游生物死亡后下沉,在下沉的过程中,有的可能受到似细胞状细菌和腐生真菌等的氧化分解;沉到水底后,由于水层的增厚或其它沉积物的覆盖,转变为还原环境。在厌氧细菌的作用下,低等植物和浮游生物遗体中的蛋白质、脂肪和碳水化合物经分解、合成作用,形成一种含水量很高的絮状黑灰色胶体物质,经脱水、压实,即形成富含水分和沥青质的有机软泥,称为腐泥。若腐泥化作用进

行到一定阶段便趋于停止,腐泥中常保存藻类,成为藻煤的前身;若腐泥化作用进行得比较彻底,则腐泥中的藻类及其它有机质的结构全部被破坏,仅在显微镜下能隐约地看到这些组分的轮廓,则成为胶泥煤的前身——胶泥;若在腐泥化作用过程中带入孢粉等高等植物的残体,便成为腐植腐泥煤的前身;若带入较多的矿物质,就可能成为油页岩的前身。

(尹善春)

#### funimeil

**腐泥煤** (sapropelic coal) 由湖沼、潟湖或闭塞海湾环境中菌藻类及浮游生物遗体经腐泥化作用形成腐泥,再经煤化作用转变而成的煤。它光泽暗淡,结构均一,呈块状构造,常具有贝壳状断口,韧性较大,易燃,燃烧时有沥青味,多呈透镜状或薄层状赋存于腐植煤层中,偶尔也能形成单独的可采煤层。中国山东西部、山西浑源、大同、蒲县等地均见有腐泥煤。常见的腐泥煤有藻煤、胶泥煤等。

**藻煤** (boghead coal) 保存有藻类、菌类等低等植物结构的腐泥煤。它呈褐色,光泽暗淡,致密状或略显层理,结构均一,常具贝壳状断口。它在显微镜下观察,常见Pila或Reinschia藻群体,藻类有不同程度的膨化,均匀地分布在沥青质基质中,基质中常有细小分散的粘土矿物;透射光下呈黄色、浅棕黄色;荧光下具亮黄色或棕黄色。藻煤由于挥发分和氢含量高,因而焦油出率高,为炼油的良好原料。藻煤在中国分布广泛,晚古生代、中生代及新生代均有发现,山东肥城、兖州,山西浑源、大同、蒲县等地均有出产。蒲县太原组煤中夹有两层藻煤,山西组煤中夹有一层,以山西组较好,厚度可达0.4m左右,藻类体含量可达62%,主要为Pila藻。浑源藻煤中有少量Reinschia藻。俄罗斯莫斯科、澳大利亚、英国苏格兰、巴西巴伊亚州马拉古村均见有藻煤。

**胶泥煤** (saprocillite) 成煤低等植物全部分解的腐泥煤。其外貌与藻煤类似,呈黑色或深褐色,显微镜下观察很难见到轮廓清晰的藻类,几乎全由无结构的腐泥基质组成。

(韩德馨)

#### fuzhifunimeil

**腐植腐泥煤** (humic-sapropelic coal) 又称腐植腐泥煤,由高等植物和低等植物遗体经成煤作用转变成的以腐泥为主的煤。它是介于腐植煤及腐泥煤之间的一种过渡型煤。其物理性质和化学性质亦介于

两者之间。一般认为腐植腐泥煤多形成于盆地滨岸地带,当其中的腐植质含量超过腐泥含量时,即变为腐泥腐植煤。常见的腐植腐泥煤有烛煤、烛藻煤和煤精。

**烛煤** (cannel coal) 腐植腐泥煤之一,易燃,因火焰酷似蜡烛火焰而得名。它呈灰黑色或褐色,光泽稍强于藻煤,有时带油脂光泽,致密,较坚韧,贝壳状断口,块状构造。显微镜下观察,它大部分为橙黄色或褐黄色腐泥基质,并含有较多的小孢子和少量藻类。烛煤的挥发分、氢含量和焦油产率较高,适于炼油及其它工业应用。中国山西浑源、大同,山东兖州、新汶等地均产。

**烛藻煤** (cannel-boghead coal) 介于藻煤与烛煤之间的过渡型腐植腐泥煤。接近于藻煤者变为烛藻煤。它呈灰黑色,致密,具贝壳状断口,有时呈薄层状,往往沿层理裂开。在显微镜下观察,藻类体和孢子体等均匀地散布于腐泥基质中。其物理性质及化学性质介于烛煤与藻煤之间。中国山西蒲县有炭二叠纪煤层及贵州水城晚二叠世煤层中均见有烛藻煤。

**煤精** (jet) 又称煤玉,质地坚韧,可供雕琢的特殊的腐植腐泥煤。其色黑,沥青光泽,致密块状,显微镜下观察,植物已强烈分解,以透明基质为主,结构复杂多样,常见红褐色均匀透明的腐植基质,另外也有棕褐色絮状腐泥质基质,常见有菌核体,基质中有时显示微波状层理及水平层理,常以透镜体或团块状分布于腐植煤中,为雕琢工艺美术品的重要原料,中国主要产地在辽宁抚顺。

(韩德馨)

fuzhimei

**腐植煤** (humic coal) 又称腐植煤,由高等植物遗体在泥炭沼泽环境中经泥炭化作用形成泥炭后再经煤化作用形成的煤。在低煤化阶段的腐植煤中,常见保存程度不同的植物遗体,显微镜下观察,可见植物组织及细胞结构。腐植煤在煤化过程中具有不同的物理、化学及工艺特征。腐植煤按煤化程度可分为褐煤、烟煤、无烟煤等。

腐植煤中宏观可识别的基本组成单元有镜煤、亮煤、暗煤和丝炭等四种煤岩成分。依照煤的总体相对平均光泽强度,可将腐植煤划分为光亮煤、半亮煤、半暗煤和暗淡煤等四种宏观煤岩类型,它是煤岩成分共生组合的反映。必要时,在划分宏观煤岩类型之后,还可依据结构特征再细分为若干亚型。

腐植煤依据显微镜下可识别的各种显微组分的共生组合,可划分为微镜煤、微壳煤、微惰煤、微亮煤、微暗煤、微镜惰煤及微二合煤等显微煤岩类型。

腐植煤的宏观和显微镜下观察与煤化学研究相结

合能正确阐述煤的成因和工艺性质,为煤的合理利用提出依据。

(韩德馨)

fuzhisuan

**腐植酸** (humic acid) (见加工利用卷)。

fuzhizu

**腐植组** (huminite) 褐煤的显微组分组之一。

主要由高等植物的木质纤维组织经腐植化作用和生物化学凝胶化作用转化而成的显微组分组。该词来源于拉丁文“humus”,即“土壤”之意。褐煤中的腐植组到烟煤阶段,演化成为镜质组。按植物质料保存状况,腐植组可分成结构腐植体、碎屑腐植体和无结构腐植体三个显微组分组,并可进一步按凝胶化程度、转变方式和来源不同,细分为显微组分和显微亚组分。腐植组油浸反光色呈深灰色,透光色为褐黄到红褐色;氧含量高,制砖性良好。

**结构腐植体** (humotelinite) 具植物细胞结构(指胞壁部分)的腐植组显微组分组。按其凝胶化程度不同,可分为结构木质体、腐木质体两个显微组分。

**结构木质体** (textinite) 细胞壁基本未膨胀的结构腐植体。植物组织的细胞壁部分未经凝胶化作用。其分层、纹孔、胞间隙等原始结构清晰可见。因含纤维素,在透射光下显示强各向异性。部分结构木质体发褐色荧光。煤化过程中它们首先变为腐木质体。

**腐木质体** (ulminite) 细胞壁虽膨胀,但仍保留细胞结构的结构腐植体。细胞壁遭受不同程度凝胶化作用,据此可细分为木质结构腐木质体和充分分解腐木质体两个显微亚组分。①木质结构腐木质体 (text-ulminite),部分细胞腔已封闭,细胞结构仍易辨识;②充分分解腐木质体 (eu-ulminite),胞腔完全封闭,细胞结构难以辨认。

由于凝胶化作用的发展,使腐木质体在硬褐煤中比软褐煤中要多,在进一步煤化作用中,其木质结构腐木质体部分转化为结构镜质体;充分分解腐木质体部分转化为均质镜质体。

**碎屑腐植体** (humodetrinite) 腐植碎屑和腐植凝胶直接混合而成的腐植组显微组分组。它们为烟煤中基质镜质体和部分碎屑镜质体的前身。根据凝胶化程度它们可进一步划分为细屑体和密屑体两个显微组分。

**细屑体** (attrinite) 由轮廓清晰的腐植碎屑颗粒和细分散的凝胶疏松组合而成的碎屑腐植体。它们呈



海绵状,常构成其它显微组分的基质。主要来源于草本植物和被子植物的木质部及抗破坏力弱的器官,是在富氧环境中经强烈分解而成。煤化过程中,随凝胶化程度增高,细屑体可均质化而成为密屑体。

**密屑体 (densinite)** 紧密胶结的碎屑腐植体。腐植碎屑颗粒轮廓模糊。它们是硬褐煤中的优势显微组分,在软褐煤中亦常见。

**无结构腐植体 (humocollinite)** 不显示细胞结构的腐植组显微组分亚组。它们主要由无定形的腐植凝胶、强烈凝胶化的植物组织和腐植化碎屑组成,并含有细胞分泌物丹宁的衍生物。它们在反射光下显示均一性,常以胞腔、裂隙、孔隙的充填物形式出现。它们是烟煤中无结构镜质体的前身。无结构腐植体可分为凝胶体和团块腐植体两个显微组分。

**凝胶体 (gelinite)** 胶状无结构腐植体。为无定形的、凝结的腐植凝胶。按结构还可分出多孔凝胶体 (porigelinite) 和均匀凝胶体 (leviglinite) 两个显微亚组分。

**团块腐植体 (corpohuminite)** 团块状的无结构腐植体。呈球状、椭球状、条状等形态,大小和植物细胞一致,常充填在细胞腔内,也可呈单体存在。透光色呈暗红到褐色,反射率较碎屑腐植体强或相同,无荧光。按其成分可分为鞣质体 (phlobaphinite) 和假鞣质体 (pseudo-phlobaphinite)。鞣质体来源于原生细胞的鞣质分泌物,在木栓和树皮组织中很丰富,常与木栓质体共生。假鞣质体来源于腐植凝胶次生充填物。

#### 参考书目

International Handbook of Coal Petrography, International Committee for Coal Petrology, Supplement to the 2nd Edition, Centre National de la Recherche Scientifique, 15, Quai Anatole-France Paris (7<sup>e</sup>) France, 1971.

(张秀仪)

fumeidai

**富煤带 (coal-rich zone)** 煤田或煤产地内煤层相对富集的地带。自 20 世纪 70 年代初开始用于中国聚煤规律研究。中国多数煤盆地中煤的分布很不均匀,有限面积内往往集中全煤盆地 1/2 的煤炭资源量。在中国中、新生代煤盆地中,此种情况尤为明显:辽宁铁法和阜新煤盆地中,50% 以上的煤炭资源量集中于相当盆地总面积 1/20~1/30 的区域内 (下页图 1)。

富煤带通常按一组煤层 (或单一煤层) 的累计厚度圈定其轮廓。其中,煤层累计厚度最大的部位称富煤中心。富煤带和富煤中心是聚煤期内聚煤最有利的古环境和古构造条件的叠加部位。中国辽宁阜新煤盆地海

州组的富煤带,位于断陷盆地两侧冲积扇带之间。扇前浅湖沼泽化和湿地沼泽化,是成煤的有利地区,适合的构造沉降速度和远离盆缘断裂,又提供了理想的古构造条件。

在近海型煤盆地中,煤层的稳定性和覆盖面积较中、新生代断陷煤盆地大得多,但仍存在着煤层相对集中的地区。中国贵州六盘水煤田及其邻近地区,就是中国南方晚二叠世聚煤区的富煤带 (92 页图 2)。该煤田主要煤层发育于浅水三角洲平原,往东向碳酸盐岩地区过渡;构造上处于扬子地台南缘斜坡,煤层较厚也较稳定,成为中国南方最大的煤田。

国外许多大煤田内的煤聚积亦有明显的分带性,在有利地带也特别富集,哈萨克斯坦中生代的许多煤田和乌克兰顿涅茨石炭纪煤田就很有代表性 (92 页图 3)。

在概念上富煤带不同于前苏联学者提出的聚煤带。前者是盆地级的,仅在煤盆地中使用。后者则是全球性的,主要受控于古气候,即与潮湿气候带相吻合。

在煤盆地中进行含煤性预测,首先就要研究富煤带的形成条件和分布规律。

#### 参考书目

武汉地质学院煤田教研室,《煤田地质学》上册,地质出版社,1979。

李思田、杨上恭、黄家福等,《断陷盆地分析与煤聚积规律》,地质出版社,1988。

(李思田)

fushuixishu

**富水系数 (water abundance coefficient)**

又称含水系数。一定时间内,从矿井中排出的水量  $Q$  ( $m^3$ ) 与同一时间内开采煤量  $P$  (t) 的比值,其表示式为:  $K_p = \frac{Q}{P}$ 。它是表示矿井充水程度的一种指标。

富水系数  $K_p$  值受气候、地质、水文地质条件等自然因素和开采方法、开采强度、开采深度等人为因素的影响,变化很大。同一矿井在不同时期 (雨季或旱季,富水年或干旱年),富水系数的变动范围也很大。

目前,中国水文地质条件简单的矿井,富水系数小于 2;水文地质条件中等的矿井,富水系数等于 2~10;水文地质条件复杂的矿井,富水系数等于 10~50;水文地质条件极复杂矿井,富水系数大于 50;湖南煤炭坝矿的富水系数甚至达到 120。

利用生产矿井的实际富水系数值 (多年平均值),借助比拟法,可以大致预计新设计矿井的涌水量。其应用条件是,新、老矿井的水文地质条件相似,采煤方法与参数相同或基本类似。

(沈文)



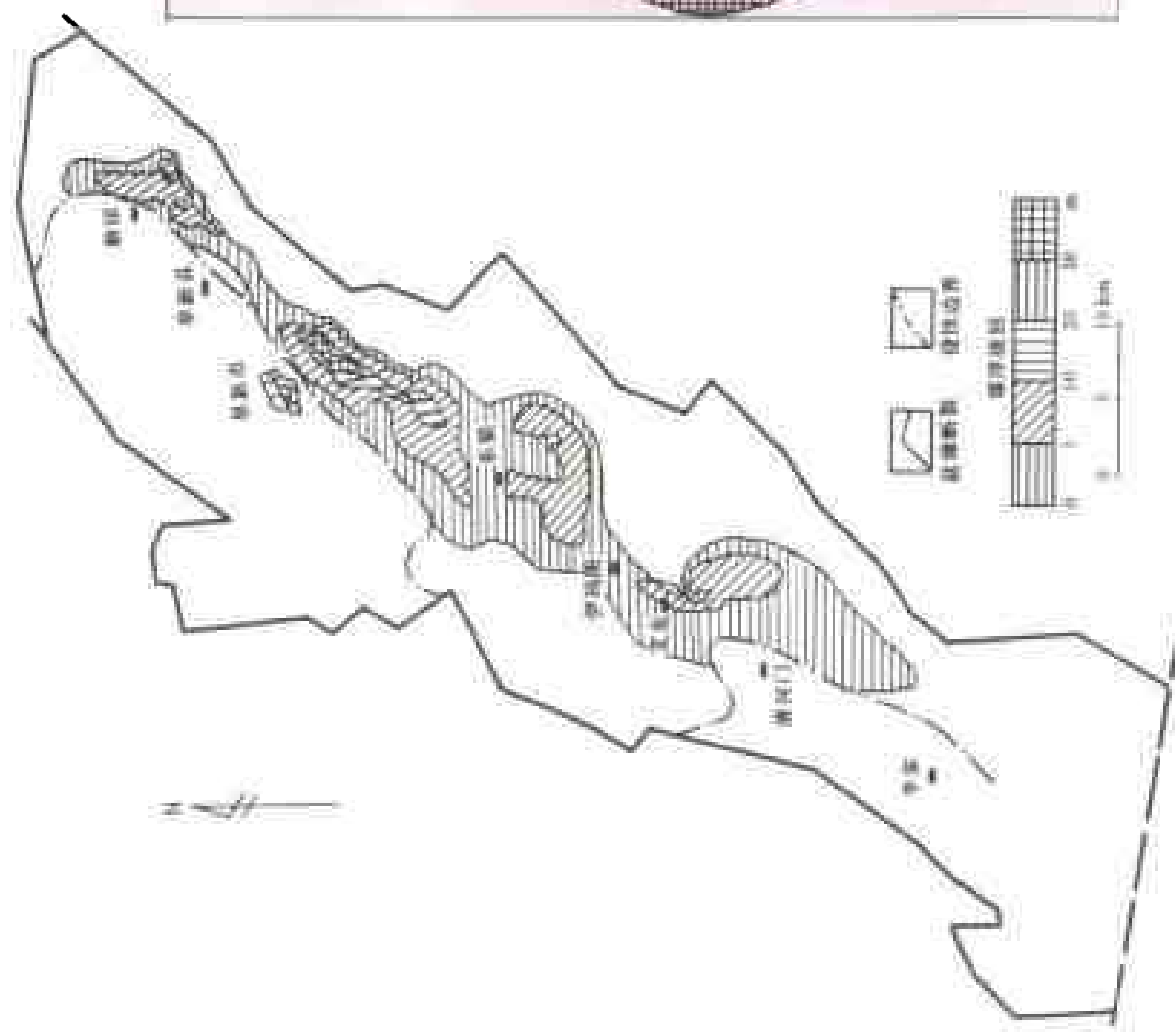


图1 中国阜新盆地早白垩世海州组太平上段煤层累计厚度图  
(据杨士恭, 1988年)

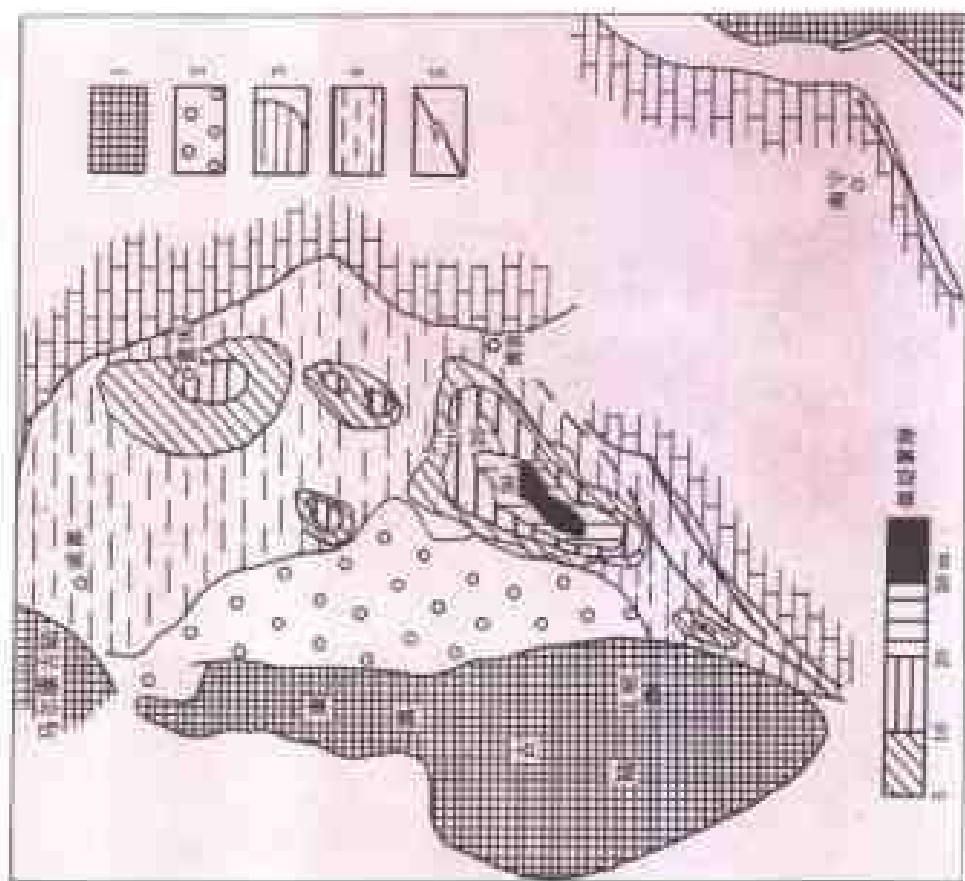


图2 中国云、贵、川地区富煤带分布略图  
1—古陆；2—冲积体系为主带；3—碳酸盐台地为主带；4—碎屑岩体系和  
三角州体系为主带；5—断裂（夏文臣编，1991）

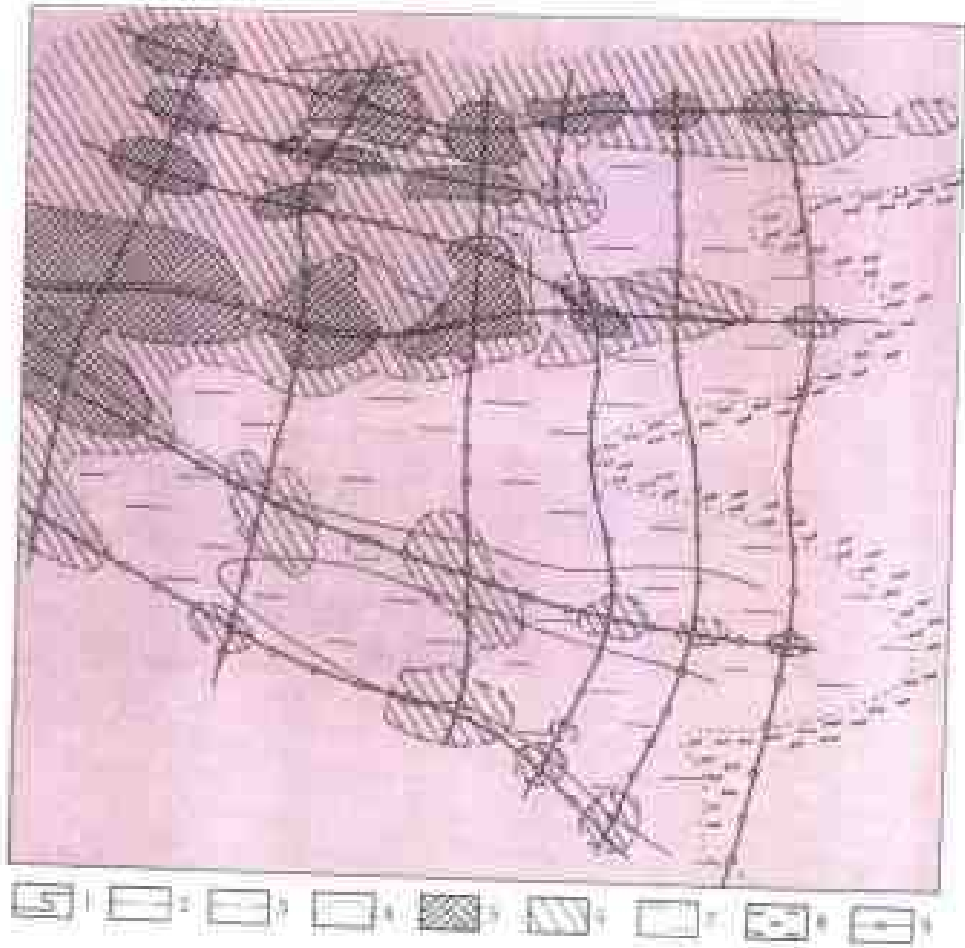


图3 乌克兰顿涅茨煤田东部  $i_3-i_3^H$  煤层分带示意图  
 1—煤层露头；2—聚结煤层带的轮廓（初次分岔线）；3—初次分岔带煤层的轮廓；  
 4—煤层被碳质—泥质沉积及泥质沉积区域性地替代的范围；5—聚结煤层带（I  
 型）；6—初次分岔煤层带（II型）；7—多次分岔煤层带（III型）；8—煤相变为碳  
 质泥岩和泥岩的带；9—最适宜的聚结煤层带的轴线  
 （据 Прокопченко, 1977）

## G

gaofenbianlǜ dìzhèn kǎntàn

**高分辨率地震勘探** (high resolution seismic survey)

分辨率比一般地震勘探方法更高,能区分更小地质体的反射波法地震勘探技术。它的工作频率较高,频带较宽,虽能提高分辨率,但穿透深度减小。

高分辨率地震勘探始于20世纪70年代。1977年,在英国煤田试验并取得成功。中国于1982年在煤田地震勘探中开始试验,1985年推广应用。同时,扩展到石油地震勘探及工程地震勘探领域。

**地震分辨率** 地震勘探区分两个邻近地质体的能

力。地震分辨率可分为垂向分辨率及横向分辨率两类。

①垂向分辨率,指可区分的地质体最小厚度。②横向分辨率,又称水平分辨率,指可区分的最窄地质体的宽度。

不少学者从不同角度研究垂向分辨率,提出了维代斯(widess)准则、瑞利(Rayleigh)准则、雷克(Ricker)准则(图1)。一般认为,垂向分辨率大约等于 $1/4 \sim 1/8$ 优势波长。

在水平叠加剖面上,任一时刻反射振幅是相应反射点及其附近第一菲涅尔带内所有点绕射振幅的叠

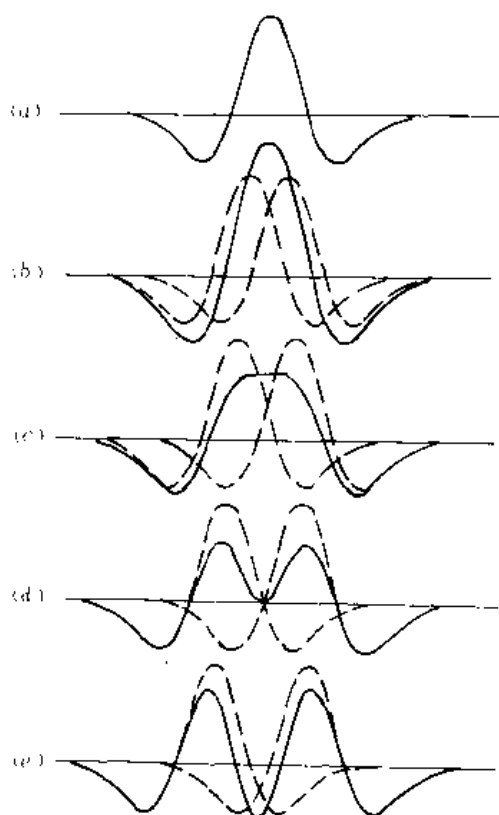


图1 瑞利准则与雷克准则

a—子波; b—两子波到达时差小,不能分辨;  
c—时差达雷克极限; d—时差达到瑞利极限;  
e—时差较大,易分辨

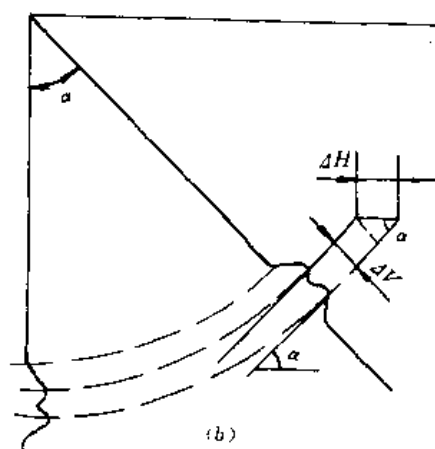
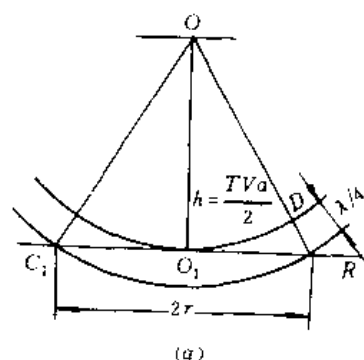


图2 横向分辨率

a—第一菲涅尔带; b—偏移剖面上的  
垂向分辨率与横向分辨率

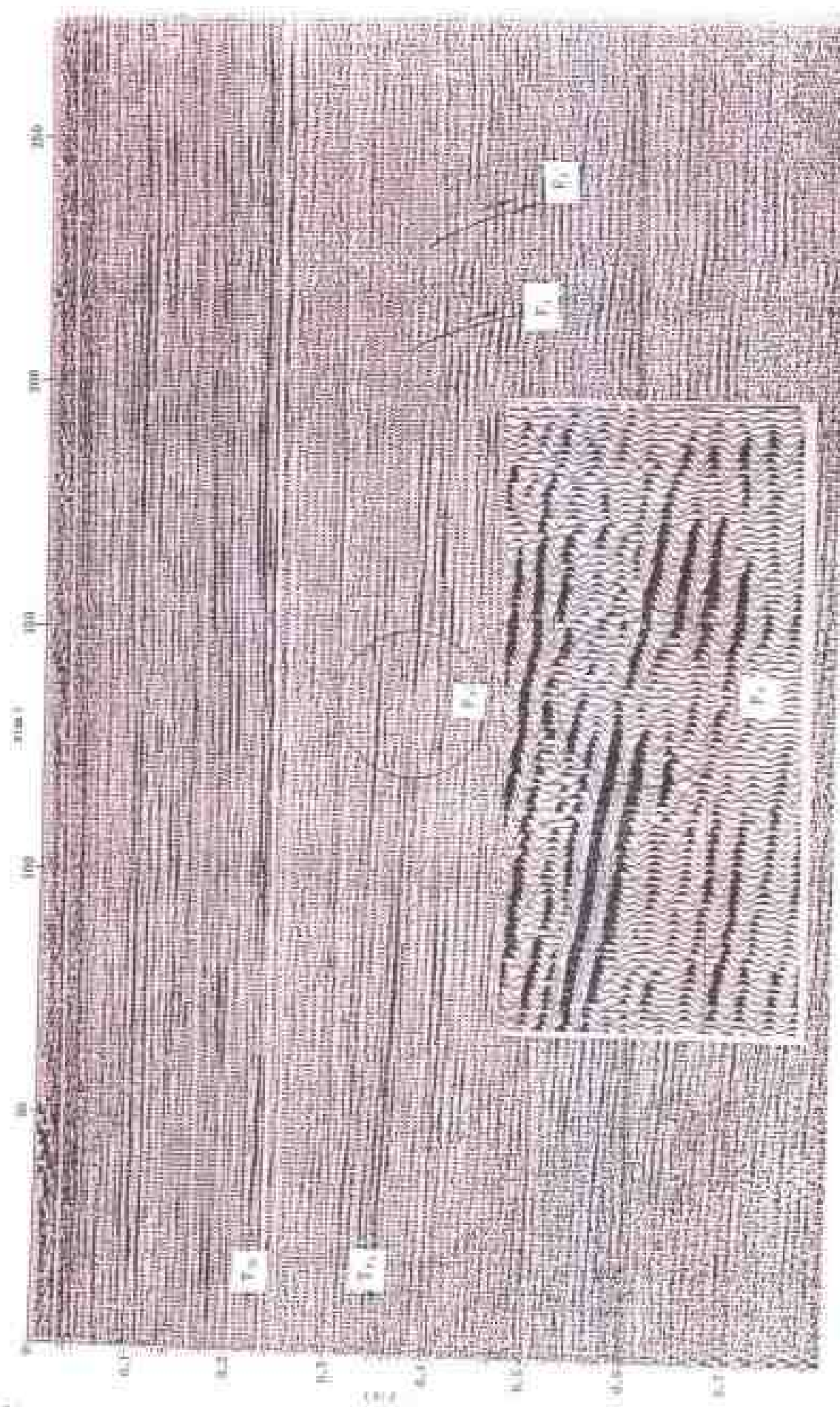


图3 中国山东济宁龙垌地区26线地震叠加剖面  
(F<sub>3</sub>断层落差6m)



加。第一菲涅尔带半径  $r = \sqrt{\frac{h\lambda_0}{2}} = \frac{v_a}{2} \sqrt{\frac{t_0}{f_0}}$  (图 2a), 式中  $h$  为界面埋深;  $\lambda_0$  为优势波长;  $v_a$  为上覆地层的速度;  $t_0$  为双程旅行时;  $f_0$  为优势频率。水平叠加剖面进行地震偏移处理后, 将地震波场向下延拓, 直到  $t_0 = 0$ 。相当于将检波器下降到反射界面, 理论上使菲涅尔带有效地缩小到一点。这样, 在叠加偏移剖面上, 横向分辨率  $\Delta H$  只与空间采样率 (道间距)、噪声及偏移过程有关。 $\Delta H$  与垂向分辨率  $\Delta V$  间存在一个简单的关系:  $\Delta H = \frac{\Delta V}{\sin \alpha}$ , 式中  $\alpha$  为偏移角;  $\Delta V$  为垂向分辨率 (图 2b)。

影响地震分辨的主要因素是地震子波 (延续长度仅 1~2 个周期的地震脉冲) 的波长、优势频率与地震波速度。其次, 也与地震子波频带宽度和地震子波类型有关。在无噪声条件下, 地震子波优势频率越高、频带越宽, 则分辨率越高。在振幅谱相同时, 零相位子波的分辨率最高。随着探测深度的增大, 地震波速度增大, 介质吸收作用使高频成分衰减, 频带变窄, 优势频率降低, 地震分辨率也不断降低。噪声也是影响地震分辨率的另一个重要因素, 分辨率随信噪比 (某一时刻有效信号能量或振幅与噪声等所有剩余能量之比值) 的提高而提高。①信噪比为 1 时, 分辨率相当于无噪声时的 50%。②信噪比为 2 时, 分辨率提高到 80%。③信噪比为 4 时, 分辨率提高到 94.1%。④当信噪比小于 1 时, 提高信噪比就成为改善分辨率的关键。⑤当信噪比大于 2 时, 则再提高信噪比对提高分辨率意义不大。在信噪比足够高的条件下, 提高地震分辨率的途径是激发和记录频率高、频带宽的地震信息, 并在处理中给予保护, 适当补偿高频成分, 改善地震子波。

**特点** 高分辨率地震勘探的数据采集、处理及解释全过程的各个环节, 都有别于一般地震勘探, 具有自己的特色。

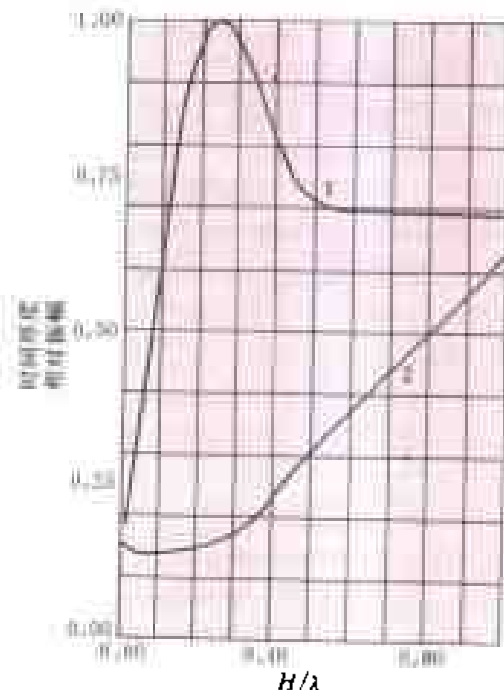
**数据采集** 多用小药量激发出频率高、频带宽的地震脉冲; 借助高频、单个检波器或数目不多的小基距 (不大于道距) 检波器组合, 高 (时、空) 采样率, 小偏移距及多次覆盖等措施, 高保真地接收与记录反射信息, 避免大道距检波器组合及多次覆盖的低通滤波作用而造成高频损失。必要时, 使用水听器 (一种对压力变化敏感的压力检波器) 将其沉放于钻孔内, 置于低速带以下的水中; 改善检波器与地表的耦合条件, 避开地表低速带松散层对高频的吸收, 或使用涡流检波器, 对高频信息进行一定的补偿。在干扰严重信噪比不高时, 只能采取折衷的办法, 强化组合与叠加, 以适当牺牲分辨率为代价, 保证有足够高的信噪比。

**数据处理** 采用宽带滤波, 保持足够有效带宽; 采

用精细的静校正, 准确消除地形和地表层不均匀性及炮孔深度对反射旅行时的影响; 采用精细的速度分析, 准确进行动校正, 提高共中心点道集各道反射波的相干性; 避免在叠加过程中由于同相性不好而损失高频成分; 滤波与叠加是消除噪声与多次波等干扰的重要手段, 采用反 Q 滤波 (对地震波在地层中传输过程中高频能量损失的一种补偿处理) 与反褶积, 部分补偿由于地层吸收作用而引起的地震波高频衰减, 展宽频带, 压缩地震子波; 采用去相位滤波, 将地震子波改造成近似零相位子波 (关于零时间对称的雷克子波等地震子波); 采用偏移处理不仅可将反射点归位到适当的位置, 使地质构造能正确成像, 而且还可收敛绕射波、回转波等特殊波能量, 使断点及弯曲界面清晰聚焦。

**资料解释** 与普通反射法类似, 但要特别注意在时间剖面上准确区分同相轴的真伪; 采用地震模拟技术, 分析不同构造、地层、岩性的高分辨率地震响应, 帮助进行正确的地质解释。

**应用** 高分辨率地震勘探, 主要用于寻找小幅度的构造、小断层 (图 3)、寻找地层和岩性圈闭的油藏。利用薄层的谐振曲线 (图 4), 还可估计煤层和油 (气) 储集层的厚度。在煤矿及油气田开发勘探中, 高



参数:

| VP   | VS   | ZHO  | H   |
|------|------|------|-----|
| 1750 | 1000 | 1.80 | 210 |
| 3710 | 1990 | 2.60 | 100 |
| 1960 | 1090 | 1.39 | 4.4 |
| 3710 | 1990 | 2.60 |     |

图 4 煤层的谐振曲线

1—煤层反射波峰谷振幅曲线; 2—时间厚度曲线

分辨率地震勘有极为广阔的发展前景。

### 参考书目

A. J. Berkhout, Seismic resolution, Geophysical Press, London-Amsterdam, 1984.

(刘天放)

### gaolingtū

**高岭土** (kaolin) 又称瓷土, 以高岭石族矿物为主要成分的软质粘土。因首先发现于中国江西省景德镇高岭村而得名。其中, 以高岭石族矿物为主要成分的硬质岩石称高岭岩 (kaoliniterocks), 又称硬质耐火粘土。

**概述** 高岭土常呈致密块状、土状; 质纯者呈白色, 含杂质者可呈灰、黄、褐、红、蓝、绿等色; 珍珠光泽或无光泽; 土状断口; 硬度 1~2.5; 相对密度 2.2~2.6; 有强吸水性; 在水中呈小片悬浮, 可制成胶泥, 具可塑性, 粘结性能好。含煤岩系中赋存的主要是高岭岩, 常呈致密块状、砂岩状; 瓷状或贝壳状断口; 无光泽至蜡状光泽; 硬度 3 左右; 条痕灰白—白色。高岭岩吸水性极差; 破碎后成小颗粒; 无可塑性、粘结性。

**矿物组成** 主要为高岭石族粘土矿物及水云母和蒙脱石等。此外, 常含有少量的石英、长石、云母等碎屑矿物以及磁铁矿、褐铁矿、金红石、硬水铝石和软水铝石等一些自生和次生矿物。

高岭石族矿物属 1:1 型二八面体层状硅酸盐, 包括高岭石、迪开石、珍珠陶土、7 Å 和 10 Å 埃洛石。其结构单元层完全相同, 单位构造高度为 7.13~7.15 Å, 层电荷近于 0, 层间域无离子和水分子, 层间以氢键相连接。其理论结构式是  $Al_4(Si_4O_{10})(OH)_2$ , 化学式为  $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ , 理论化学成分为:  $SiO_2$  46.54%,  $Al_2O_3$  39.50%,  $H_2O$  13.96%,  $SiO_2/Al_2O_3$  的克分子比值为 2。其化学成分, 除 10 Å 埃洛石多出 4 个分子水以外, 其它矿物都与高岭石相同, 区别仅在于结构单元层的堆叠方式不同。

**化学成分** 主要是  $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$  和  $H_2O$ 。纯净高岭土的成分接近于高岭石的理论成分。常含有  $Fe_2O_3$ 、 $TiO_2$ 、 $CaO$ 、 $MgO$ 、 $K_2O$ 、 $Na_2O$  等组分及有机质。不同成因类型的高岭土矿床, 其矿石化学成分有差异, ①硅高铝低型, 包括酸性脉岩和凝灰岩风化成因、凝灰岩蚀变成因矿床的矿石,  $SiO_2$  含量高于 65%,  $Al_2O_3$  含量低于 24%; ②硅低铝高型, 淋滤充填、充填物蚀变成因和含煤岩系中沉积型高岭土矿床的矿石,  $SiO_2$  在 50% 以下,  $Al_2O_3$  在 30% 以上; ③中间型, 花岗岩—伟晶岩风化型和碎屑建造沉积型高岭土矿床的矿石,  $SiO_2$  含量为 46%~74%,  $Al_2O_3$  含量为 20%~36%。

$Fe_2O_3$  和  $TiO_2$  含量一般在沉积型矿床中较高, 而在蚀变型矿床中铁质含量最少。

工艺性能包括粒度、白度、可塑性、悬浮性、分散性、粘结性、造浆性、干燥性、烧结温度、熔融范围、耐火性、离子吸附和交换性、吸水膨胀性等。

(1) 粒度。高岭土中不同大小颗粒组合及它们之间数量关系。高岭土的粒度范围一般在 2.00~0.001mm 之间。高岭土的粒度与其中主要矿物高岭石的结晶程度有关, 结晶好的高岭石粒度较粗。各工业部门对高岭土粒度均有一定的要求。粒度分布对高岭土的分散性、可塑性、干燥性、烧成性以及比表面积等都有直接影响。

(2) 白度。分自然白度 (生料白度) 和焙烧白度 (熟料白度)。造纸、涂料用高岭土要求有很高的自然白度。优质高岭土的白度可达 80~90。杂质会严重影响其白度。

(3) 可塑性。它是陶瓷塑性法成型工艺的基础。高岭土的粒度越细, 分散程度越大, 可塑性越好。

(4) 悬浮性和分散性。高岭土分散于水中不易沉淀的性质。高岭土的颗粒越细小, 其悬浮性越好。

(5) 粘结性。高岭土与非可塑性原料结合能形成可塑性泥团并具有一定干燥强度的性能。它是耐火材料和陶瓷工业的一项重要物理指标。高岭土的可塑性越强, 其粘结能力也越强。

(6) 造浆性能。高岭土加水调和成泥浆时所具有的流动性能。陶瓷、造纸、钻探、农药等均要求有流动性好的泥浆。

(7) 干燥性能。高岭土泥团形成之后, 在自然条件下和在干燥过程中表现出的性能, 包括干燥收缩和干燥强度等。高岭土的干燥收缩一般为 3%~10%。在陶瓷工艺中, 干燥收缩过大, 容易引起坯体的变形和开裂。

(8) 烧结温度和熔融范围。在陶瓷工业中, 它们是决定坯料配方和选择窑炉类型的重要参数。

(9) 耐火性。与化学成分有关。 $Al_2O_3$  含量高, 其耐火度也高; 而钾、钠、铁的存在则会降低耐火度。

(10) 离子吸附和交换性。高岭土在不同介质中, 吸附各种异号离子的性能。离子的电价越高, 越易被吸附; 同价离子则离子半径越大, 越易被吸附。高岭土阳离子的交换能力, 主要取决于粘土矿物的成分、结晶度、有机质含量和粘土的分散度等。高岭土作为染料、填料以及用以吸附各种色素等都与其中复合有机体的作用有关。

(11) 吸水膨胀性、膨胀容与胶质价。高岭土由于粘土颗粒之间的缝隙产生毛细管作用而吸水, 使其体

积膨胀,因而具有较高粘结性。膨胀容和胶质价也是评价高岭土可塑性和粘结性的参考指标。膨胀容和胶质价数值增高,试样可塑性、粘结性往往随之增大。它们对陶瓷、耐火材料、铸造等工业都具有一定的实用价值。

**矿床成因类型** 主要有风化型、热液型和沉积型。

**风化型** ①风化残余型。原岩主要是偏酸性的铝硅酸盐质岩石。中国产于南方湿热和亚热带的台地或山间盆地残丘上。②风化淋滤型。产于中国川、滇、黔三省交界的二叠纪上统龙潭组煤系下部和茅口灰岩顶部喀斯特溶洞中。

**热液型** ①热液蚀变型。中国产于东部有大量岩浆、火山活动地区。②热泉蚀变型。产于与第四纪火山活动及地热活动有关地带。

**沉积型** 包括近代和现代河流、湖泊、海湾沉积的高岭土和与含煤岩系有关的高岭土。

含煤岩系中高岭土主要为沉积型,其次为风化残余型及淋滤型。①沉积型高岭土。可以煤层夹矸、顶、底板或单独成层形式出现,主要由胶体化学沉淀及火山灰蚀变而成。②风化残余型高岭土。主要由煤层在地表浅部风化而成。

**成矿时代及特征** 中、新生代形成的风化残余型、风化淋滤型、热液型及相当数量的沉积型高岭土,多为软质高岭土;古生代及时代更老的沉积高岭土,多为高岭岩。在中国各大聚煤期内,均有高岭土矿床分布(图1),其中最重要的成矿地质时代是石炭二叠纪。其矿床规模巨大,品位较高。随着时代变新,矿床数量、规模及品位有降低趋势。

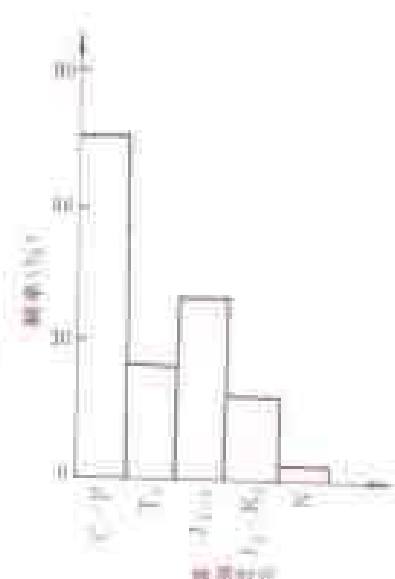


图1 中国不同地质时代高岭土(岩)矿床出现频率直方图

**工业用途** 高岭土具有很高的分散性、可塑性、结合性、耐火性、绝缘性、化学稳定性等优异的物理化学性能,广泛用于轻工、化工、建材、石油、医药、新技术等工业部门,主要用于造纸、陶瓷、耐火材料、橡胶、塑料和涂料行业。含煤岩系中多产硬质高岭岩,因无可塑性及粘结性,使其应用受到一定限制,不及高岭土使用广泛。但如果解决除炭、去铁、剥片、增白、分级等方面问题,其应用范围必将扩大,成为一种重要矿产资源。

**资源分布** 世界高岭土产地主要分布于北美洲、欧洲、亚洲,其中北美洲高岭土资源量约占世界高岭土总资源量的15%。

中国含煤岩系中的高岭土储量占世界高岭土总储量的59.23%,高岭土矿床主要集中于江苏、浙江、福建、广东等沿海各省。

据1985年美国内务部矿业局估计,世界高岭土查明储量达12.157Gt,其中美国占北美洲储量的95%;苏联占欧洲的41%;英国占33%。生产高岭土最主

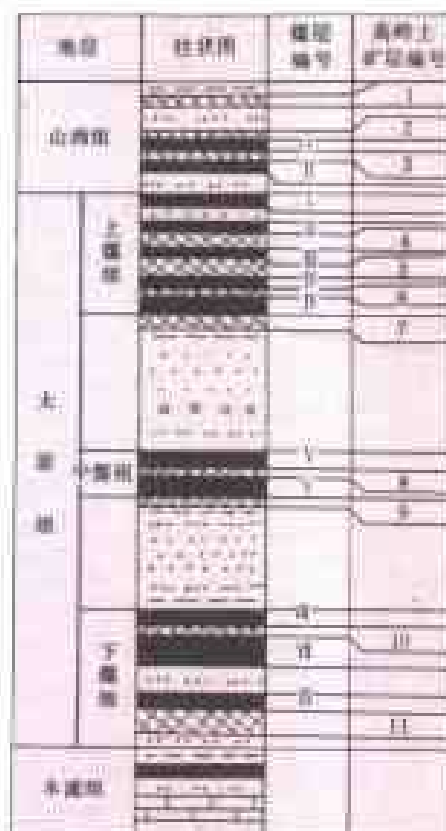


图2 中国大同煤田高岭岩赋存层位

1、2、9—含粉砂隐晶状高岭岩;3、10—胶状高岭岩;4、6—粗晶和细晶高岭岩;5—含一水软铝石胶状高岭岩;7、11—碎屑状高岭岩;8—细晶及胶状高岭岩

(据常青,1984)





要的国家有,①年产 1Mt 以上的有美国、英国、苏联、法国、德国。②年产 0.5Mt 以上的有韩国、巴西、捷克、斯洛伐克、印度、中国。③年产 0.1Mt 以上的有罗马尼亚、西班牙、保加利亚、南斯拉夫、日本、墨西哥、埃及和南非。

据中国地质矿产部建材总局 1988 年估计,中国全国高岭土储量在 1.2Gt 以上(不包括含煤岩系中的高岭土及高岭岩)。其中,华东占总储量的 43.8%,中南占 42.1%,东北占 9.2%,西南占 3.9%,华北占 1%。

中国含煤岩系中高岭土(岩)资源十分丰富,凡有含煤岩系分布的地区,都赋存有高岭土(岩)。最为著名的有山西大同(图 2),山东新汶、河北易县、陕西蒲白、内蒙古准格尔等地的优质硬质高岭岩;河北唐山,山西介休等地的木节土;河南,山东,安徽两淮地区和江西萍乡产的焦宝石型高岭岩;山西阳泉和河南焦作等地的软质粘土等。据 1990 年统计,中国含煤岩系中高岭土(岩)各级探明储量 1.673Gt,远景储量 5.529Gt;预测资源量 11.086Gt。

#### 参考书目

陶维屏等,《中国工业矿物和岩石》上册,地质出版社,1987。

(张鹏飞 刘钦甫)

#### geshuiceng

**隔水层** (aquiclude) 在重力作用下不透水与不导水的岩层。它位于潜水含水层的底部,或承压含水层的顶部和底部。不透水通常是指普通压力条件下而言。隔水层的渗透系数一般规定小于 0.001m/d。渗透系数是指水力坡度为 1 时,地下水在介质中的渗透速度。它是反应岩石渗水能力的参数。

隔水层通常可分为致密岩石、储水隔水层和弱透水层等三类。①致密岩石,指致密沉积岩、致密结晶岩,其内部没有空隙,不含水,也不透水;②储水隔水层,指粘土或泥岩,其岩石孔隙度大,但孔隙小,内部存在的水绝大部分为结合水;③弱透水层,天然条件下它们可看作是隔水层,但遇区域性水头下降,特别是在上、下含水层水位差别大的情况下,大量地下水可通过这类隔水层越流补给含水层。

由于岩性变化,裂隙、喀斯特和断裂的发育,以及埋藏深度的不同,隔水层的隔水能力在平面上与剖面上不稳定,隔水层可以过渡为透水层,隔水层中也可以有透水带。在实际工作中,往往要结合工作区的水文地质特点,视岩石透水或不透水的相对性,划分隔水层。

在开采条件下,煤层顶部和底部附近的岩层会遭受采动破坏。采动破坏使煤层顶板岩层形成冒落带、裂隙带和整体下沉带,其中冒落带和裂隙带范围内的隔

水层将丧失其隔水性能,成为导水裂隙带。导水裂隙带的高度,与岩层的岩性、物理力学强度、煤层倾角大小、煤层开采厚度等因素有关,一般为 10~30m 或更大些。采动使煤层底板及底板以下岩层破坏,破坏深度范围一般为 4~12m 或更深些。在这一范围内,隔水层同样会丧失其隔水性能。

在煤矿防治水工作中,通常选取隔水层最小厚度(又称安全厚度)作为评价可采煤层顶板或底板岩层的有效隔水性能的主要参数。隔水层最小厚度是指将自然条件下隔水层由总厚度减去受采动破坏而丧失隔水性能的那部分岩层的厚度而剩余的厚度。

(沈文 胡丹九)

#### gouzao xingshi

**构造型式** (tectonic type) 具共同组合形态特征的标准构造体系。构造体系是不同形态、不同性质、不同等级、不同序次和不同方向,但具有成生联系的各项结构要素所组成的构造带及它们之间所夹的岩块或地块组合而成的构造总体。

构造体系和构造型式是地质力学的基本概念。地质力学是由中国地质学家李四光所创立的,用力学原理分析和研究各种地质构造现象的一门边缘学科。在“地球表面形象变化的主因”(1926)一文中,李四光提出地球自转速度的变化是构造形变和海水进退的主要动力机制,随后又明确提出了构造体系的概念(1929)。经过长期研究,逐步建立了各种不同的构造型式,形成了一套严谨的地质力学工作方法,这在 20 世纪 60 年代整理出版的《地质力学概论》一书中,做了比较系统的总结。70 年代以后,地质力学广泛应用于矿床地质和地壳结构、稳定性的研究,在石油、煤田、金属矿床勘探、水文和工程地质、地热和地震地质等方面都取得了丰硕的成果。

构造型式反映一定动力作用方式所造成的统一构造应力场,其中不同形态、不同力学性质、不同级别和序次的各项构造形迹,遵循力学规律建立彼此的配置关系,这就决定了卷入这一构造型式的含煤岩系的成生、保存和分布规律,依据构造型式的基本特征,可以进行煤田和地质构造预测。

各种构造型式依据动力作用方式和构造组合形态特征,分别隶属于纬向构造体系、经向构造体系和扭动构造体系。

**纬向构造体系** 在南北向直压应力作用下成生的大型复杂构造带,各构造带自成体系,大体沿一定纬度展布,其主体是走向东西的褶皱和冲断带,并具有长期复杂的演变过程。中国境内发育完好的纬向构造带有



①阴山—天山构造带；②秦岭—昆仑构造带；③南岭构造带。这三条纬向构造带对中国大地构造格架的形成和演化具有重要作用，是构造、地层、地貌乃至气候的分划性构造单元。构造带内部由次级隆褶带和拗褶带组成，含煤岩系保存于拗褶带内，以线状、长条状含煤向斜构造为主，并伴有逆冲、逆掩断层。

**经向构造体系** 在东西向直应力作用下成生的不同规模的挤压带或张裂带，大体沿某一经度展布。中国境内的经向构造体系规模较小，以挤压构造带为主，主要有：①川滇构造带；②川黔构造带；③湘桂构造带；④贺兰—六盘构造带。含煤岩系主要赋存于线状、长条状向斜内。向斜枢纽起伏、走向弯转、疏密相间、成群成带，并伴生走向逆冲或逆掩断层（图1）。

**扭动构造体系** 在直线扭动或旋扭作用下成生的具有一定形态特征的构造组合，主要包括：①多字型构造；②入字型构造；③山字型构造；④各种旋卷构造。

**多字型构造** 在直线扭动作用下成生的构造型

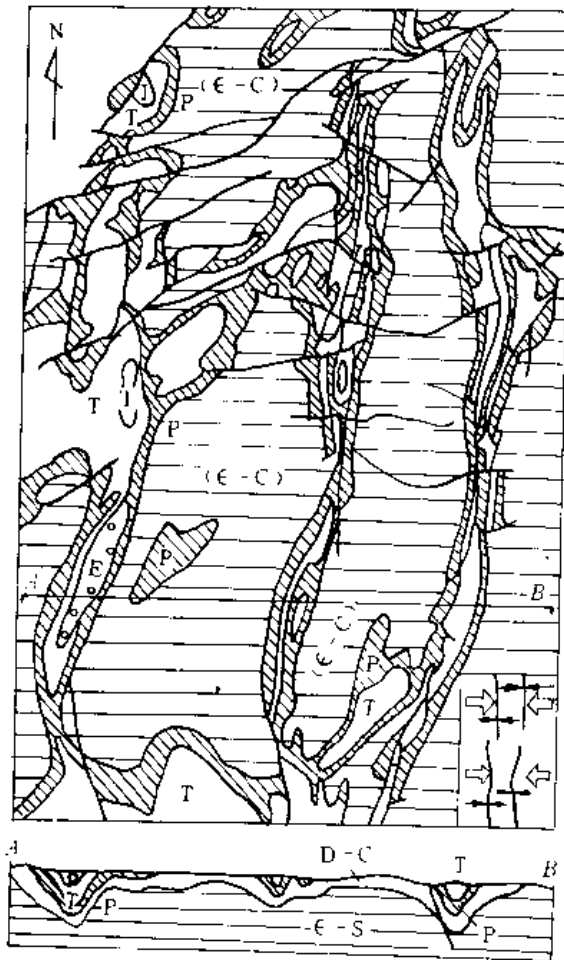


图1 经向构造带和二叠纪含煤岩系分布简图

式，由大致相互平行的褶皱、压性断裂所构成的挤压带和与之相垂直的张性断裂所组成。多字型构造的规模各不相同，巨型多字型构造纵横可达几百公里以上。规模宏大的新华复系，由北北东向斜列的巨型隆起带和沉降带组成，跨越中国东部和东亚濒太平洋的广大地域。煤田中常见中、小型多字型构造，保存含煤岩系的褶皱和断裂构造，具有等距、雁列展布特征，一般以长条状、短轴状褶曲为主，两翼不对称，陡翼常伴生走向逆冲断层。压扭作用十分强烈的构造带，可发育大型逆掩断层，断层下常有含煤岩系保存（图2）。

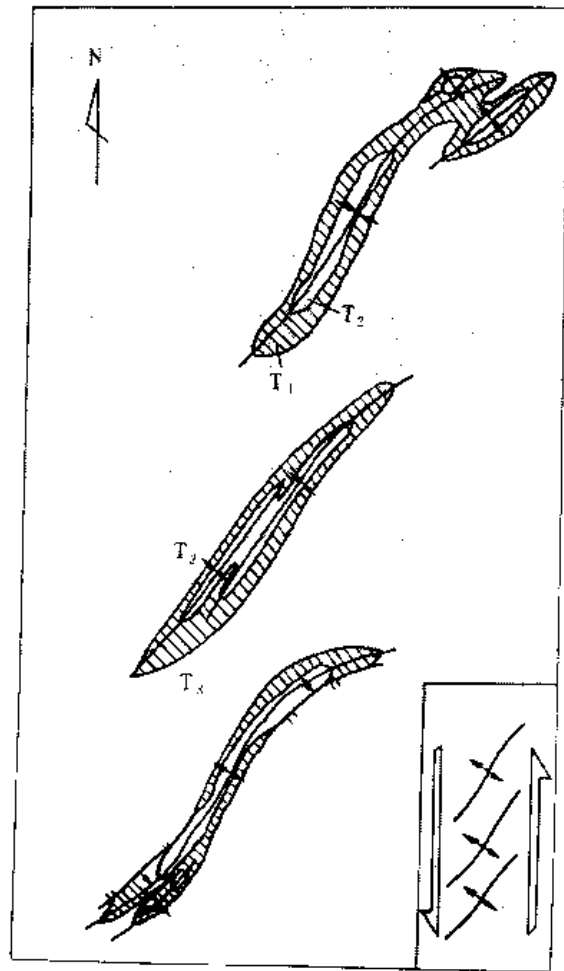


图2 多字型构造与晚三叠世含煤岩系分布简图

**入字型构造** 断层两盘直线扭动所派生的构造型式，由主干断层和分支断裂、拖曳褶皱所组成，分支构造斜接于主干断层，二者保持固有的方位关系。入字型构造的规模大小悬殊，在剖面上和平面上都经常出现。规模较大的入字型构造的主干断裂长可达千余公里，且具有显著的平移性质。著名的北美圣安德列斯 (San Andreas) 断层和中国东部郯庐断裂的东侧都发育有由

拖曳褶皱和分支断裂构成的大型入字型构造。煤田中常见中、小型入字型构造，其主干断层一般长数十公

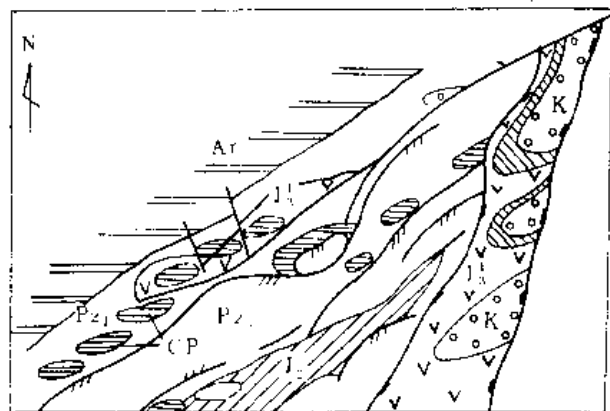


图3 入字型构造与石炭二叠纪煤向斜分布简图

里，张扭性分支断裂与主干断层所夹的锐角指向其所所在盘相对运动方向；拖曳褶皱或压扭性断裂与主干断层所夹的锐角则指向对盘相对运动方向。含煤岩系一般保存于分支断层下降盘或拖曳向斜构造内，等距、雁列于主干断层旁侧（图3）。

**山字型构造** 地壳表层不均匀滑动所造成的构造型式，主要由前弧、反射弧、脊柱、砥柱和马蹄形盾地等构造单元组成。小型山字型构造的前弧和反射弧长约30km，而巨型欧亚山字型构造则横跨欧亚两洲。中国境内对含煤岩系成生、分布有控制作用的山字型构造主要有：①祁吕贺山字型构造；②淮阳山字型构造；③广西山字型构造；④粤北山字型构造；⑤梅县山字型构造；⑥黔西山字型构造等。含煤岩系一般保存于山字型的马蹄形盾地和两翼负向构造单元内。盾地部位可以是构造简单的含煤盆地，也可以是一系列含煤向斜构造，两翼的含煤向斜构造则呈雁列展布（图4）。

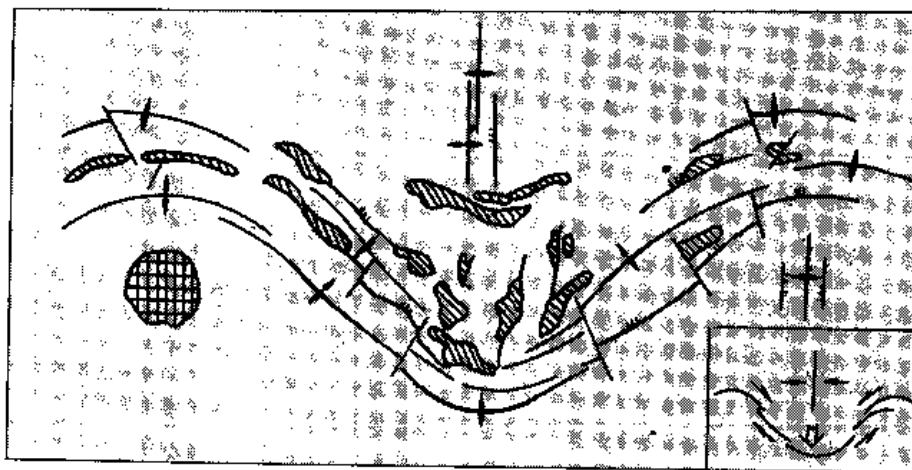


图4 山字型构造与煤向斜分布示意图

**旋卷构造** 在旋扭力偶作用下成生的构造型式，主要由旋扭的核心（呈穹隆状的砥柱或呈盆地状的旋涡）和围绕核心的弧形隆起、拗陷、褶皱及断裂所组成。旋卷构造大小不一、形式多样，主要包括帚状、S形或反S形、环状和辐射状等。含煤岩系主要保存于向斜、拗陷、断陷盆地等构造内。各褶曲轴线呈弧形，向一端收敛，而向另一端撒开。向旋扭中心方向褶曲窄缩，倾伏或仰起急陡；向外围方向褶曲宽散，倾伏或仰起缓平。褶曲平面形态多为短轴状、长条状，两翼不对称，弧形凹面一侧产状较陡，常伴有压扭性断裂。控制含煤岩系分布的旋卷构造，往往是大型构造体系的低序次构造成分，叠加在先期构造成分之上，使煤田构造呈现

比较复杂的面貌（图5）。

当一个地区有两个或两个以上构造体系成分交织在一起时，便产生构造复合或联合现象。不同构造体系成分的构造复合包括：归并、交接、包容和重叠等四种形式，并各自保持其构造型式的固有特征，不同构造体系的复合部位往往是含煤岩系构造复杂地段。构造体系的联合则形成折衷构造形迹。

#### 参考书目

- 李四光，《地质力学概论》，科学出版社，1973。  
杨起、韩德馨等，《中国煤田地质学》上册，煤炭工业出版社，1979。

（任文忠）

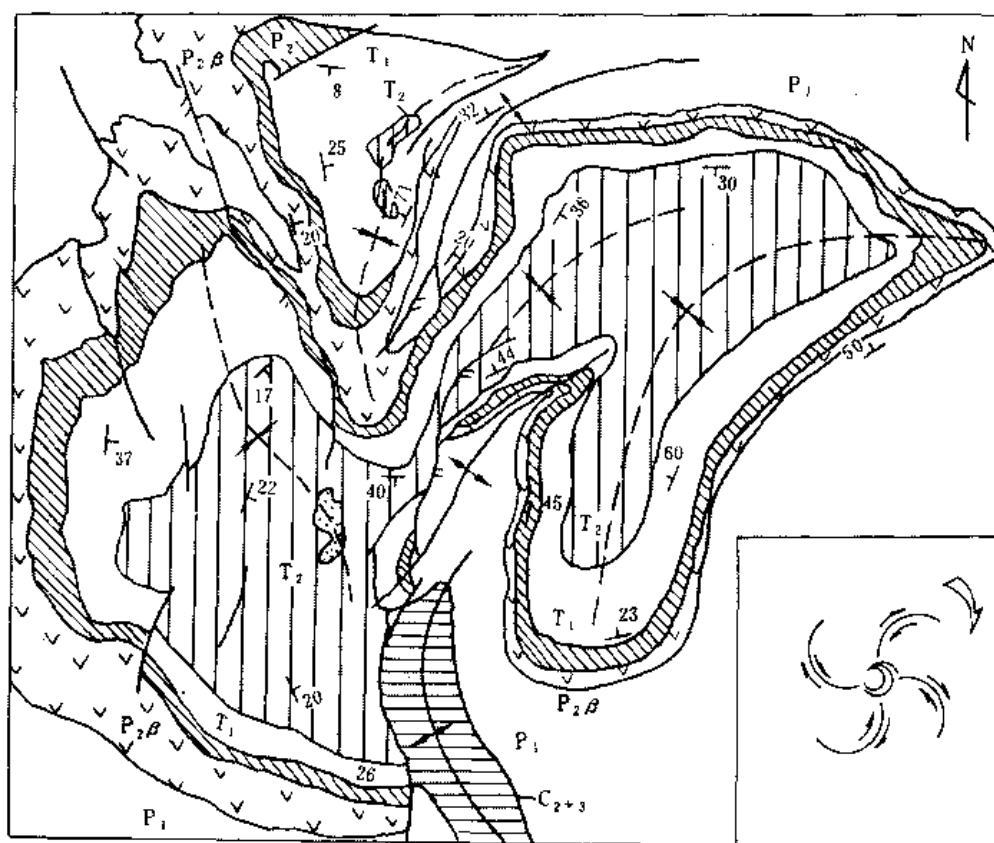


图5 旋卷构造与晚二叠世含煤岩系分布简图

guizaotu

**硅藻土** (diatomite) 生物成因的硅质沉积岩, 主要由古代水生单细胞硅藻及少量放射虫类生物的硅质遗骸组成。

**概述** 纯净干燥的硅藻土呈白色土状; 含水和杂质时, 常被铁的氧化物或有机质污染而呈灰白、黄、灰绿、黑等色。而且, 有机质含量越高, 湿度越大, 则其颜色也越深。硅藻土的矿物组成主要是蛋白石( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ), 其次是水云母、高岭石等粘土矿物、碳酸盐矿物、有机质及石英、长石、黑云母、重矿物等的碎屑。多数硅藻土的固结程度弱, 多孔, 易碎裂, 手捻即成粉末, 矿石总体硬度很低, 摩氏硬度仅1~1.5, 但其中硅藻骨骼微粒的摩氏硬度则可达4.5~5。硅藻土质轻, 纯净干燥的块体的真密度为0.1~0.3, 视密度为0.32~0.64, 能浮于水。因其化学成分主要为硅质, 故熔点高达1400~1650℃, 溶于碱和氢氟酸, 但不溶于其它酸。同时, 由于其中硅藻骨骼的微孔发育, 藻孔体积通常为0.13~0.87 $\text{cm}^3/\text{g}$ , 因而对液体具有很强的吸附性, 能吸收相当于矿石自重1.5~4倍的水, 但其对声、热、电的传导性极差。

**矿石特性** 化学成分以 $\text{SiO}_2$ 为主, 其含量通常为

60%~80%, 高者可达90%以上。根据矿石中 $\text{SiO}_2$ 和粘土矿物的含量, 可把矿石分为硅藻土( $\text{SiO}_2 > 85\%$ )、粘土质硅藻土( $\text{SiO}_2 50\% \sim 85\%$ )和硅藻粘土( $\text{SiO}_2 < 50\%$ )。前两种可作为工业矿石。构成硅藻土矿床的不同硅藻属种组合, 与硅藻土的综合利用方向有密切关系。①直链藻。因其壳环面具多列与细胞纵轴相平行的微孔而呈筛管状, 筛管内径达6~26 $\mu\text{m}$ , 孔体积、孔径、比表面积和内表面积均较大, 对催化剂有很好的承载性和透气性, 是催化剂载体的优质原料。②小环藻、圆筒藻、冠盘藻。虽其也具有多孔结构, 但因其细胞均为圆盘状, 孔径、孔体积、比表面积, 尤其是内表面积远不及直链藻, 故不宜作催化剂载体, 而主要用作保温隔热材料、助滤剂和各种填料、软磨料等。③羽纹硅藻目。其硅藻细胞一般扁平, 壳壁两侧对称, 因其细胞壁孔、沟体积、比表面积, 尤其是内表面积均小, 故作催化剂载体性能差, 而耐高温性能却很好, 在1200℃高温下焙烧2h, 其细胞壁孔、沟结构仍基本保持完好, 且其多具2~3级微孔结构, 在不同温度和助熔条件下, 各级微孔的消失情况不同, 可人为疏通不同级别的孔洞, 扩大其孔径、孔体积和内表面积, 是制做不同型号助滤剂的理想原料。

**矿床成因类型** 由于硅藻既可以底栖或浮游方式生活在宽阔的海洋和湖泊中,也可生活在河流、小溪等流水环境或池塘、沼泽环境,因而硅藻土矿床既可形成在内陆湖泊、沼泽淡水环境中,也可在靠近大陆的浅海区形成。中国硅藻土矿床主要属淡水湖泊、沼泽环境型。中国广东徐闻等地的硅藻土属半咸水条件下沉积。而世界著名的美国加利福尼亚州隆波克(Lompoc)硅藻土矿,则是海相成因矿床的典型。

**成矿特征** 硅藻土矿床最早成矿时代是晚白垩世,见于美国加利福尼亚州和俄罗斯乌拉尔地区。而具有工业价值的硅藻土矿床则几乎全集中在新第三纪和第四纪。不同的硅藻土矿床其成矿特征不同。①与火山喷发作用关系密切的湖泊型硅藻土。其SiO<sub>2</sub>来自火山喷发物,杂质较少,矿石品位好。中国吉林长白县的马鞍山硅藻土就属此列。②与泥炭沼泽有关的湖泊型硅藻土。其有机质含量高,杂质也较多,矿石品位较差。中国云南寻甸县的先锋硅藻土就属此列。③泥炭沼泽与湖泊环境频繁交替所形成的硅藻土,常与碳质层形成书页状互层。中国山东临朐县的山旺硅藻土就属此列。硅藻土品位高低,与其形成环境关系密切。

**工业用途** 硅藻土被广泛用作助滤剂、工业吸附剂、催化剂载体、保温材料、填料、软磨料、绝缘材料,还用于水泥、陶瓷等工业中。

**资源分布** 世界硅藻土矿床主要产地,①美洲,主要分布在美国西部的加利福尼亚、内华达、俄勒冈、华盛顿等州,墨西哥杰利斯科,阿根廷里奥内格罗省,巴西阿拉戈斯和巴伊亚州,秘鲁阿里卡和奇洛埃,哥伦比亚;②欧洲,主要分布在意大利拉锡埃腊,丹麦日德兰半岛,德国南部和中央地块地区,俄罗斯,乌克兰,罗马尼亚,法国,西班牙,英国,冰岛;③非洲,主要分布在沿东非大裂谷一带的更新世湖泊地层中;④亚洲,主要分布在中国,储量较多的还有韩国、日本、土耳其和印尼;⑤澳洲,在澳大利亚和新西兰也有中等品位的沼泽沉积型硅藻土。

中国硅藻土资源主要分布在东部和西南部的广大地区。目前,在云南、吉林、浙江、黑龙江、四川、内

蒙古、山东、湖北、河北、安徽、江西、广东、海南、西藏等14个省区已发现矿产地60余处。其中,比较集中的有三个区域,①吉林和黑龙江东部;②四川南部与云南;③浙江东部。优质硅藻土主要集中在吉林长白县、桦甸县、浑江市及云南腾冲县。

**储量** 据1980年美国地质调查所和1985年《工业矿物》的统计资料,以及前苏联1987年和中国1989年颁布的储量,世界硅藻土探明储量为1.841Gt,远景储量3.573Gt(下表)。其中,美国是世界上硅藻土矿探明储量最大的国家,其储量达0.5Gt以上。中国硅藻土资源量近2.2Gt,探明储量0.35Gt,优质硅藻土资源量不足0.2Gt,其中探明储量不足0.03Gt。中国70%的硅藻土与第三纪褐煤共生,粘土和有机质含量较高,烧失量高达15%左右。不利于开发利用。

世界硅藻土储量统计表

| 地区及国家   | 探明储量     |          | 远景储量<br>(Gt) |
|---------|----------|----------|--------------|
|         | 储量 (Gt)  | 占总量比例(%) |              |
| 美国      | 0.50000  | 27.13    | 0.83300      |
| 苏联及其它各国 | 0.04330  | 2.35     | 0.00070      |
| 前苏联     | 0.04000  | 21.72    | —            |
| 蒙古      | 0.004735 | 0.25     | 0.01014      |
| 中国      | 0.35100  | 18.11    | 1.28847      |
| 亚洲其它各国  | 0.00907  | 0.48     | 0.01131      |
| 欧洲      | 0.43330  | 24.63    | 1.00000      |
| 大洋洲     | 0.00000  | 0.48     | 0.01014      |
| 南美洲     | 0.00000  | 0.70     | 0.00000      |
| 世界合计    | 1.841000 | 100      | 3.573000     |

### 参考书目

黄发政等,《中国硅藻土资源及其开发与加工利用》,中国矿业大学出版社,1991。

(张鹏飞 彭苏萍)



# H

hanmei chenjitixi

**含煤沉积体系** (coal-bearing depositional systems)

一套与含煤沉积环境有关的,同一物源、同一水动力系统控制的,有成因联系的沉积体和沉积相在空间上的有规律的组合。含煤沉积体系有冲积扇和扇三角洲沉积体系、河流沉积体系、湖泊沉积体系、三角洲沉积体系、河口湾-潮坪沉积体系、障壁海岸沉积体系、碳酸盐缓坡沉积体系和碳酸盐台地沉积体系,等等。

沉积体系的概念是美国学者 W. L. 费希尔 (W. L. Fisher) 和 J. H. 麦高恩 (J. H. McGowen) 于 1967 年提出的。他们在研究北美得克萨斯州第三纪威尔科克斯群时,首先区分出若干个“沉积体系”(河流沉积体系、三角洲沉积体系等);每个沉积体系包括若干个“相”(河流沉积体系区分为低弯曲河道相、高弯曲河道相等);比“相”更小的组成部分则用“层”或“沉积物”来称呼(天然堤、决口扇沉积物等)。他们认为,“古代沉积物沉积体系的概念是由相的综合构成的,属大型的自然成因单位”,这些单位“与自然地理特征很易识别的现代沉积体系可以对比”。

任何一种沉积体系都包括若干有一定成因联系和一定空间配置关系的沉积相和沉积物。通过长期研究,已归纳、提炼出了各种沉积体系,其中包括各种含煤沉积体系的沉积模式,指出了其组成相和沉积物的基本特征、类型、形成机制和空间配置等;对于含煤沉积体系,还指出了聚煤条件和煤层、煤质的若干变化特点。熟悉已有的沉积模式并正确地运用沉积体系研究方法,将有助于正确鉴别各种沉积体系及其组成相和沉积物。任一特定地区的沉积体系,既有与沉积模式相符的该种沉积体系共性的一面,又有反映区域性特征的一面。模式本身尚待不断补充、完善。

在任何一个足够大的煤盆地中,所形成的往往不是单一的沉积体系。一种沉积体系沿盆地的上仰和下倾方向以及沿沉积走向通常过渡到另一种沉积体系。沿沉积倾向最常见的变化是由冲积扇、河流、三角洲沉

积体系到浅海陆棚沉积体系的过渡;沿沉积走向的变化通常表现为三角洲沉积体系与障壁海岸沉积体系、河口湾-潮坪沉积体系等各种非三角洲岸线沉积的相互过渡。只要真正弄清了含煤岩系中的各种沉积体系及其空间分布和配置关系,就不难恢复含煤岩系形成时的古地理环境,并恰当地确定含煤岩系的古地理类型,揭示聚煤规律。

## 参考书目

W. L. Fisher, J. H. McGowen, 1967, Depositional systems in the Wilcox Groups of Texas and their relationship to occurrence of oil and gas. Trans. Gulfcoast. Ass. Geol. Soc. 17.

W. E. Galloway, D. K. Hobday, 1983, Terrigenous Clastic Depositional Systems, Springer-Verlag.

陈钟惠,《煤和含煤岩系的沉积环境》,中国地质大学出版社,1988。

(陈钟惠)

hanmeixing

**含煤性** (coal-bearing property) 煤田、煤产地或井田中煤层发育程度(含煤丰度)和赋存状况。它包括①煤层总层数和可采(全区可采和局部可采)煤层层数;②煤层总厚度和可采煤层厚度;③含煤系数和可采含煤系数;④煤层厚度及其变化;⑤煤层形态和结构;⑥煤层间距及其变化等。有时,也将煤质方面的内容纳入含煤性范围,包括煤种、煤的化学工艺性质、煤的灰分和硫分、煤岩特征等。

**含煤系数** (coal-bearing coefficient) 煤层总厚度与含煤岩系总厚度之比,用百分数表示。它是表示煤田、煤产地或井田含煤丰度的量化指标。有时,也可按含煤岩系不同的组成层段分别计算其各自的含煤系数。中国华北晚古生代含煤岩系可分别计算太原组、山西组、下石盒子组、上石盒子组的含煤系数。不同时代、不同地区的含煤岩系,其含煤系数差别很大,低的不足1%,高的可达百分之几、十几甚至更高;同一煤田、煤产地或井田范围内,含煤岩系的总厚度和煤层总厚度

会有变化,含煤系数、含煤性也会随之变化。

**可采含煤系数** 可采煤层总厚度与含煤岩系总厚度之比,也用百分数表示。它是表示煤田、煤产地或井田含可采煤层丰度的量化指标。

**含煤密度** 单位面积(每平方公里)内的平均煤炭资源量。

**含煤率** 单位体积(每立方公里)煤系内的平均煤炭资源量。

(陈钟惠)

han mei yan xi

**含煤岩系** (coal measures, coal-bearing series) 一套含有煤层并有成因联系的沉积岩系,简称煤系,又称含煤地层、含煤建造。

**形成条件** 煤系的形成,受一定古构造、古地理、古气候和古植物条件的控制。①古构造。煤系形成于地壳下沉的沉积盆地中,世界上规模最大、发育最好的煤系形成于前陆盆地和克拉通盆地(地台盆地)中,拉张而成的盆地其煤系形成规模不如前者,但常形成巨厚煤层。②古地理。形成煤系最有利的古地理条件是广阔的滨海平原和三角洲平原;被充填了的大型内陆湖盆可形成分布广泛的煤系;冲积扇远端和冲积平原曲流带两侧也均有利于泥炭层的堆积,但含煤性不如前者。地史上自泥盆纪陆生植物开始发育以来,随着植物群不断演化,各时代均有煤系形成,发育最好的是石炭二叠纪煤系、侏罗纪煤系和第三纪煤系。③古气候。地壳上含煤岩系的发育,受古气候带的制约非常明显。现代泥炭的堆积既见于低纬度的赤道潮湿热带、亚热带,又见于高纬度的半潮湿温带和寒温带。前者树木无年轮,后者年轮明显。除冈瓦纳大陆(南方大陆)外,全球石炭二叠纪煤系大都形成于低纬度的赤道湿热气候带,因为古生代煤中的植物木质部分大都无年轮,成煤植物群落常具有热带雨林的特征;中生代,主要是侏罗纪、白垩纪形成的煤,在肉眼或镜下观察中常见有植物细胞结构的镜质组、丝质组成分有明显的年轮,说明煤系形成于高纬度的潮湿、半潮湿温带。中纬度的干燥气候带是适于膏盐矿床发育的气候带,一般无煤系形成。大型

沉积盆地中,由于气候变迁、所处板块的不断移动等原因,随着时间的迁移,沉积盆地可经历不同的气候带,造成含煤岩系与不含煤的红层在时间和空间上的过渡。因此,含煤岩系与按年代划分的地层单元可以一致,也可以不一致。含煤岩系可以是跨时代的,而同一时代的地层单元可以由含煤岩系过渡到非含煤岩系。

**岩性特征** 煤系是潮湿、半潮湿气候带的产物,主要由灰、灰绿、灰黑色的沉积岩组成。当古气候条件发生变化时,煤系中也可出现一些带紫红、绿色斑块的杂色泥质岩、粉砂岩等。不同粒度的碎屑岩往往是煤系的主要岩性类型,同时还可夹一些碳酸盐岩、火山碎屑岩、硅质岩等,有时碳酸盐岩甚至可能占绝对优势。与煤系共生的沉积矿产可能有油页岩、铝土矿、耐火粘土等。

**沉积相** 近海环境下形成的煤系由海陆交替相组成;内陆环境下形成的煤系全由陆相组成。

世界上晚古生代煤系和一部分中、新生代煤系形成于近海条件下,为海陆交替相煤系,其海相部分主要是滨、浅海碎屑岩夹碳酸盐岩,还包括过渡相,一般不

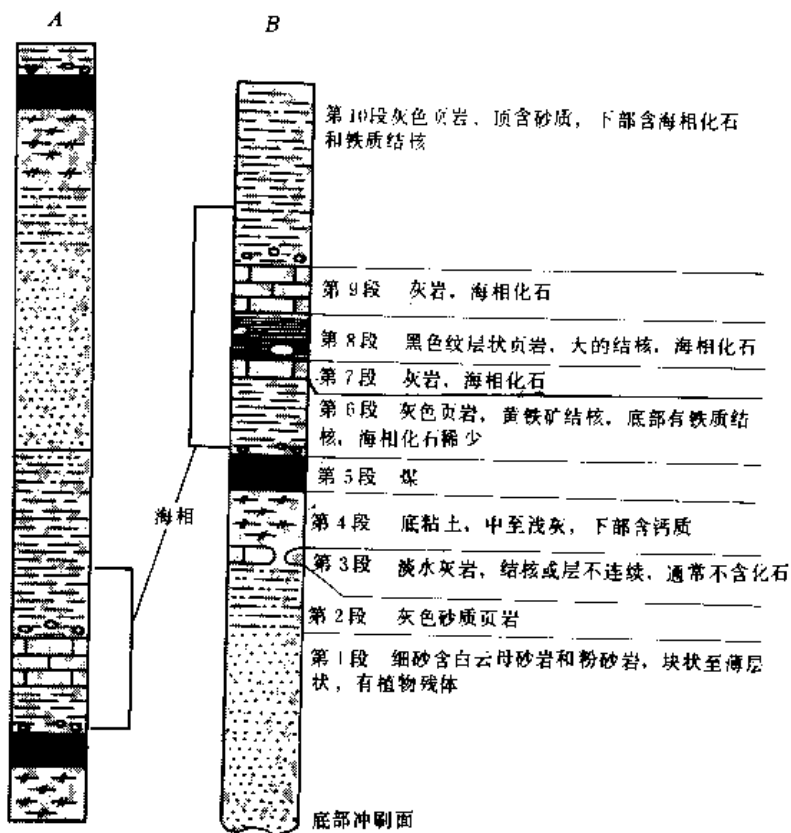


图1 美国伊利诺斯西部含煤岩系中一个旋回的柱状模式图  
A—由 Udden 1912 年建立; B—由 Weller 1930 年建立  
(据 Krumbein 和 Sloss, 1963; Fern 和 Weisenfluh  
略加修改, 1989)

含深海和远洋环境的沉积物。三角洲平原和障壁后洼地是最好的成煤环境。内陆型煤系常见于中、新生代,以湖泊和湖三角洲相、冲积扇和扇三角洲相和河流相等为主组成。

**旋回结构** 煤系的旋回结构最早由 J. A. 厄登 (J. A. Udden) 1912 年所描述,他在美国伊利诺斯盆地西北部的中石炭世宾夕法尼亚系中,发现从下往上为根土岩-煤层-海相灰岩或泥质岩-粉砂岩-砂岩,而其上又出现根土岩和煤层 (图 1, A)。这种旋回表明泥炭层形成后,盆地由于沉降而遭受海侵,泥炭层被海相沉积所覆盖。厄登所描述的旋回,现在看来,属于向上变粗的垂向层序,是陆源碎屑物被流水带入水盆地进积而成。M. J. 维勒 (M. J. Weller, 1930) 和 H. R. 万勒斯 (H. R. Wanless) 与维勒 (1932) 在伊利诺斯盆地西部同时代煤系中将每一对海退-海侵岩层称为旋回层 (图 1, B), 维勒和万勒斯特别强调砂岩底部的冲刷面。他们在矿井为观察砂岩底部向下切割甚至冲刷掉了部分煤层,认为是区域范围内的不整合。目前看来,这实际是曲流点坝向上变细的垂向层序。至于旋回的成因,则有地壳振荡运动构造成因和海平面升降成因之争议。

1970 年, J. C. 弗姆 (J. C. Fenn) 提出旋回中海侵、海退沉积可以与现代密西西比河三角洲的沉积作用相比拟,因此可以用三角洲的沉积作用来解释。万勒斯 (1970) 则仍强调海水进退。

**沉积环境模式的建立和发展** 早期煤系沉积环境模式的建立,主要是根据煤系岩性、岩相的垂向变化,而对其横向变化注意较少。1950 年,万勒斯在美国中西部盆地 (向东经伊利诺埃至肯塔基东部和西弗吉尼亚南部阿巴拉契亚高原地区) 建立了第一个考虑到煤系横向变化的沉积模式。其主要特征是,向东 (陆源方向),海相层减少和煤层分岔、层数增多。即,由于差异沉降,煤系地层的厚度向东增大,而相应海相层和碳酸盐岩层减少。

第二个考虑煤系横向变化的沉积模式是弗姆和 G. E. 威廉斯 (G. E. Williams) 1963 年建立的,他们工作的基础是对美国宾夕法尼亚州西部 100m 厚的阿勒格尼组煤系的研究,发现厄登和维勒所描述的向上变粗的层序和向上变细的层序是连续渐变的,前者代表了海的方向,后者代表了陆的方向。煤出现在向陆的一侧,而海相灰岩出现在海的一侧,二者之间分布着含菱铁质结核的层。

20 世纪 70 年代中期,弗姆等提出了阿勒格尼沉积模式 (图 2), 后发展为阿巴拉契亚地区煤矿勘探的沉积环境模式。他指出,干净障壁岛砂岩后的潟湖淤坪上,可以有泥炭堆积,但形成的煤层薄,含硫不稳定,煤体沿障壁岛走向延伸;盆下三角洲平原分流间湾被充填后,在三角洲前缘向上变粗垂向层序的顶部,可有煤层发育,煤体在分流河道两侧沿沉积倾向方向延伸,煤层薄,灰分、硫分较高,只有在决口砂岩的覆盖

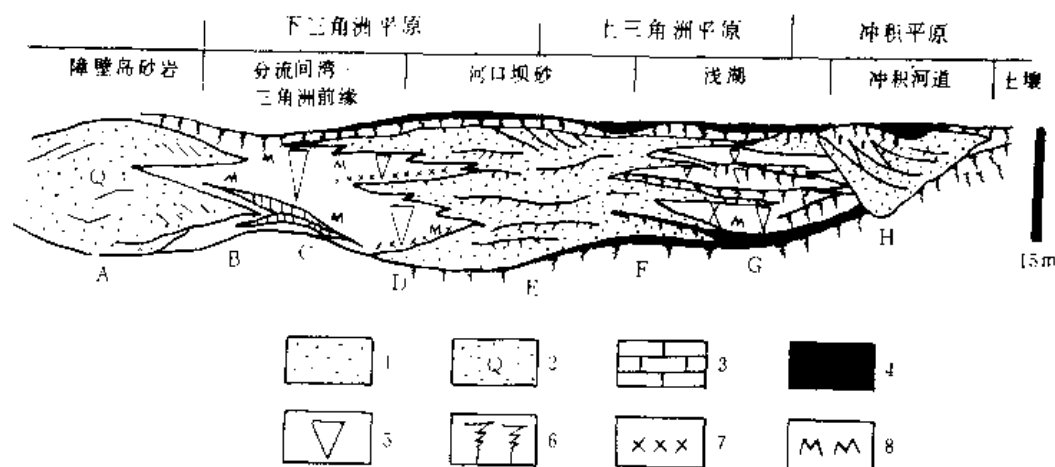


图 2 美国阿巴拉契亚地区阿勒格尼沉积模式

1—障壁岛砂岩; 2—分流间湾; 3—河口坝砂; 4—浅湖; 5—冲积平原; 6—障壁岛砂岩; 7—分流间湾; 8—河口坝砂; A—障壁岛砂岩; B—分流间湾; C—河口坝砂; D—分流间湾; E—河口坝砂; F—分流间湾; G—分流间湾; H—冲积平原。注: Fenn, 1974 提出; Fenn 和 Weisenfluh, 1989。

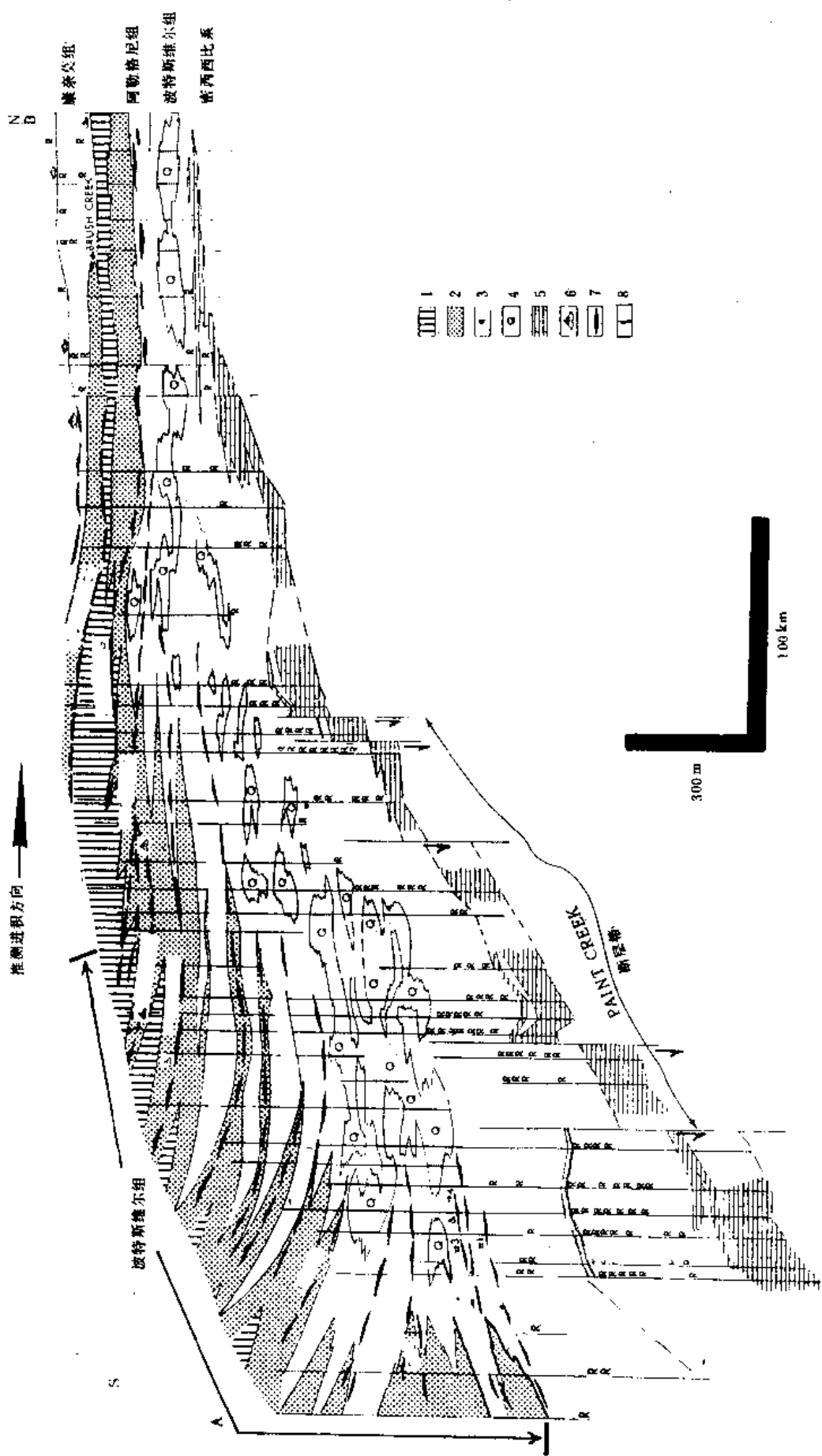


图3 美国东部弗吉尼亚州波卡洪塔斯盆地上石炭统横剖面，自南向北至  
宾夕法尼亚平原西部，含煤岩系逐渐变薄  
1—冲积相；2—上三角洲平原相；3—下三角洲平原相及滨海相；4—障壁砂坝；5—海相灰岩；  
6—海相化石；7—煤层；8—同生断层  
(据 Fenn 和 Cavaroc, 1969; Fenn, 1974; Fenn 和 Weisenfluh, 1989)



下,才能找到低硫煤;③在上、三角洲平原过渡地带,河口坝向上变粗垂直层序的顶部,可望找到较厚的,横向连续较好的煤层;④上三角洲平原分流间泛滥盆地的浅湖、洼地中,可以发育较厚的低灰、低硫煤,但横向分叉快、连续性较差。阿勒格尼的模式,后来又在波卡洪塔斯和黑勇士盆地得以检验,发现自南向北含煤岩系的厚度越来越薄,系受盆地基底的同沉积断裂的控制(图3)。

1989年,弗姆和G. A. 怀森弗鲁系统地总结了煤系沉积模式研究的历史,根据美国阿拉巴马州北部的工作,恢复了Pratt煤层的沉积环境模式(图4),更强调盆地内同沉积断裂的作用,指出:煤层向断块的下降盘分叉变薄、层数增多,夹在叠置的砂体之间。弗姆还指出:不能单独根据向上变粗垂直层序的厚度来判断三角洲平原的上、下,因为它是受同沉积断裂所控制的。

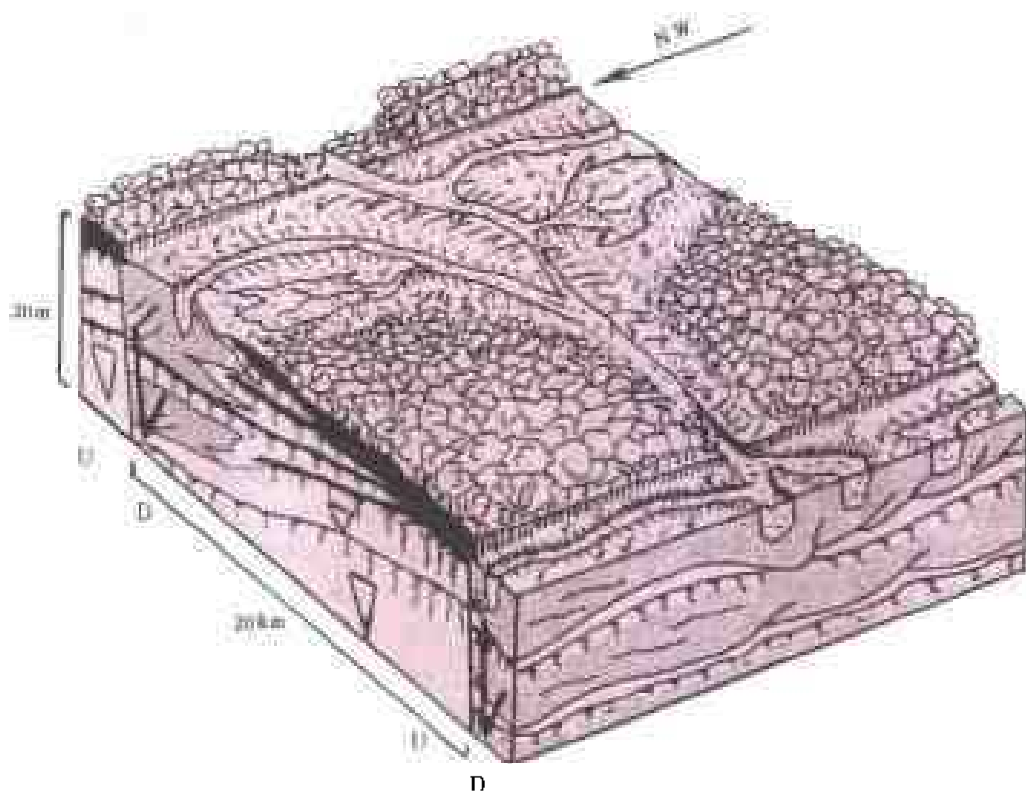


图4 美国亚拉巴马州北部 Pratt 煤层的沉积环境模式

U—上升盘; D—下降盘

(据 Weisenfluh, 1982)

20世纪90年代初,层序地层学的兴起,为大区域含煤岩系的地层对比和沉积环境模式的研究,提出了新任务和新方向。层序地层学强调等时的地层格架和海平面升降对相的控制,在等时的地层单元内,强调研究沉积体系域及其横向过渡关系,根据准层序组的叠置型式进行对比,搞清海平面升降及其与聚煤作用的关系。因此,在大型沉积盆地内,打破传统的板状岩性对比模式,根据沉积等时面建立层序地层对比模式,研究在各层序中不同体系域内煤系、煤层的分布特征和横向变化,特别是煤层的三维空间分布及其与海平面升降的关系,目前已成为煤系研究的新方向。

中国早在20世纪50年代就已发现华北聚煤区石

炭二叠纪含煤岩系从北往南有一定变化规律,并用以指导煤田地质勘探工作。近年来,对近海型和内陆型含煤岩系都进行了层序地层研究,发现在不同体系域内煤层、煤质特征不同,在海浸体系域内成煤沼泽与顶板沉积环境的关系,比与底板沉积的关系更为密切。

(李宝芳)

hanshuiceng

**含水层** (aquifer) 含有地下水并允许水在其中以显著数量流动的岩层。它是地下水赋存和运动的主要场所。

一般认为,凡是渗透系数大于0.001m/d的岩石,

都可成为含水层。决定含水层水量大小和保证程度的因素主要有,①含水层的透水性和给水度;②含水层的贮水量;③地下水的补给条件。

**含水层类型** 可按空隙类型、水力学条件、渗透性空间变化和富水性划分。

(1) 含水层根据含水岩(土)层空隙类型可分为孔隙含水层、裂隙含水层和喀斯特含水层三类。①孔隙含水层。指以孔隙水为主的含水层,主要是松散沉积物(砂砾石含水层、砂含水层)。其富水性取决于含水层的成因类型、岩性结构和颗粒成分。②裂隙含水层。指以裂隙水为主的含水层,主要由各种坚硬岩石所构成。在岩层露头或基岩埋藏浅的地区,大多分布有风化裂隙含水层。中国各煤矿区的风化裂隙带深度一般为30~60m,随着埋藏深度的增大,裂隙发育变弱。深部岩层间的裂隙含水层,其富水性受岩性结构、构造裂隙和成岩裂隙控制,不同构造部位,富水性有明显变化。③喀斯特含水层。指以喀斯特水为主的含水层,由可溶岩层溶隙发育而构成。在中国各煤矿区,由石灰岩和白云岩构成的喀斯特含水层分布较广。中国排水量最大、突水事故严重的煤矿井往往具有这类含水层。喀斯特发育和分布基本格局受岩性和构造控制,这类含水层的富水地段总是沿着岩性变化带、构造断裂带、节理裂隙发育带及褶皱剧烈变化带分布。这类含水层的水文地质特征独特,表现在其富水性极不均一,在水平与垂直方向变化显著;水力联系各向异性和动态变化显著。中国各煤矿区喀斯特含水层的贮水空间大致呈区域性,北方以溶隙为主;南方是溶洞与溶隙互相联系;西南以暗河管道为主。

(2) 含水层根据埋藏条件及水力学状态可分为承压含水层与潜水(无压)含水层。①承压含水层。指两个不透水层或弱透水层之间所夹的完全饱水的含水层。此类含水层中任一点的压强都大于1atm。②潜水含水层。指具有自由水面的含水层。此类含水层水表面的压力等于1atm,自由水面以上可以是透水层,也可以是弱透水层或隔水层。

(3) 含水层根据其渗透性空间变化可分为均质含水层和非均质含水层。①均质含水层。其透水性能是一个常量,与空间坐标无关。它多见于河流冲积相厚层砂。均质含水层还可进一步分为均质各向同性含水层和均质各向异性含水层。后者是指同一点的渗透系数随水流渗透方向不同而变化的均质含水层,这多见于层状结构和带状结构的岩层。②非均质含水层。其透水性在空间是变化的,或沿水平方向,或沿垂直方向变化;或渐变,或突变。在自然界中,非均质含水层居多。

(4) 含水段。对于厚度很大的含水层(如中国某些

地区的奥陶纪石灰岩),由于其在剖面上裂隙或喀斯特发育不均匀,可按富水性把它划分为不同的含水段。

**充水含水层** 由于采掘而对矿井(坑)充水有影响的所有含水层的统称。煤层采动后,天然水文地质结构会遭受破坏,不仅紧贴煤层的含水层中的水会涌入坑巷,而且距离煤层较远的含水层中的地下水也会构成矿井(坑)充水水源。按其影响程度和性质,充水含水层又可分为直接充水含水层和间接充水含水层。①直接充水含水层。指露天矿坑或井巷大面积揭露,煤层回采后可通过巷道顶板冒裂带或底板底鼓裂隙等直接向井(坑)进水的含水层。它决定矿井涌水量的大小。②间接充水含水层。指与直接充水含水层有水力联系(包括含水层对接、以各种通道联系,以及疏干排水后因水位差大而形成的越流补给联系),并只有通过直接充水含水层向井(坑)进水的含水层。它是直接充水含水层的补给水源,影响矿井涌水量的持续时间和趋势。

(沈文 胡开九)

hekouwan-chaotan chenjitixi

**河口湾-潮滩沉积体系** (estuarine-tidal flat depositional systems)

受潮汐水力控制的、有成因联系的河口湾沉积与潮滩(曾称潮坪)、草沼泽沉积在空间上的有规律组合。河口湾外形呈漏斗状,其漏斗顶部对着受潮汐影响的曲流河道,而向海方向逐渐加宽,湾内有許多朝海方向延伸的潮砂脊及浅滩。河口湾的两岸有广布的潮滩和草沼泽(图1)。河口湾(estuary)一词源于拉丁文 aestus,意思是潮汐,可见主要是强调了潮汐对河口的改造作用。

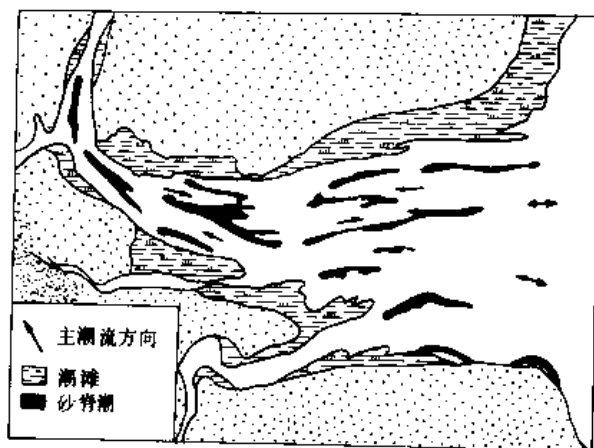


图1 大潮河口湾的综合形式

(据 Hayer, 1976)

**河口湾沉积的主要特征** 对河口湾有很不相同的理解。M. O. Hayes (1976) 将河口湾划分为小潮河

口湾、中潮河口湾和大潮河口湾；但许多人则认为，小潮河口湾和中潮河口湾实际上发育的是河流和潮汐联合作用的三角洲以及以潮汐作用为主的（潮控的）三角洲，而真正的河口湾只出现在大潮差地区。河口湾与潮控三角洲有许多相似之处，所不同的只是在典型的河口湾中缺少非潮成的三角洲平原部分，漏斗状形态更为明显，主要沉积体是线形潮砂脊。

潮砂脊是平行潮流方向的砂体，因而大致垂直平均岸线延伸方向。潮砂脊高数米到20m，宽数百米，长数公里，具有复杂的内部沉积构造；由于涨潮流和退潮流通常各沿不同的路线，因而在不同的地点，其大型交错层系的倾向可能是不同的，但经常能见到反向的小型交错层理叠加其上；底部，在冲刷面之上，通常有潮道滞留沉积物，并可能含砾石、介壳碎屑等；下部为较粗粒砂，发育大型交错层理，向上粒度变细，层理规模变小。

**潮滩沉积物的主要特征** 在河口湾沿岸分布的潮

滩，可划分为潮下带、潮间带和潮上带以及与它们密切共生的不同规模的砂质、砂泥质和泥质潮道。

**潮道沉积** 潮道又称潮汐水道。通常，含介壳类碎片的较粗的砂和大量泥砾堆积在水道底部，形成潮道层序的滞留沉积，向上为砂泥质的潮道充填物。在潮坪环境的不同地段，潮道有不同的特征。由海朝陆按岩性特征依次可分为砂质潮道、砂泥质混合潮道和泥质潮道。沿这个方向，潮道的形态也发生变化。①在潮下部分，潮道较直，潮砂脊和纵向砂坝、斜向砂坝等比较发育，侧向移动的能力强。②在砂质潮间带，潮道较直，分支较少，剖面形态较对称。③在泥质潮间带，潮道呈树枝状，强烈不对称，弯曲度增高，有发育很好的曲流砂坝，由薄的纹层状粘土和粉砂的互层及细砂层组成，并以向潮道缓倾斜的侧向加积层理为特征。

在潮道砂质沉积物中，作为涨潮流、退潮流的反映，一般具双向交错层理，但由于涨潮流、退潮流的能量不同，双向交错层理以一个方向为主。有时，主要流

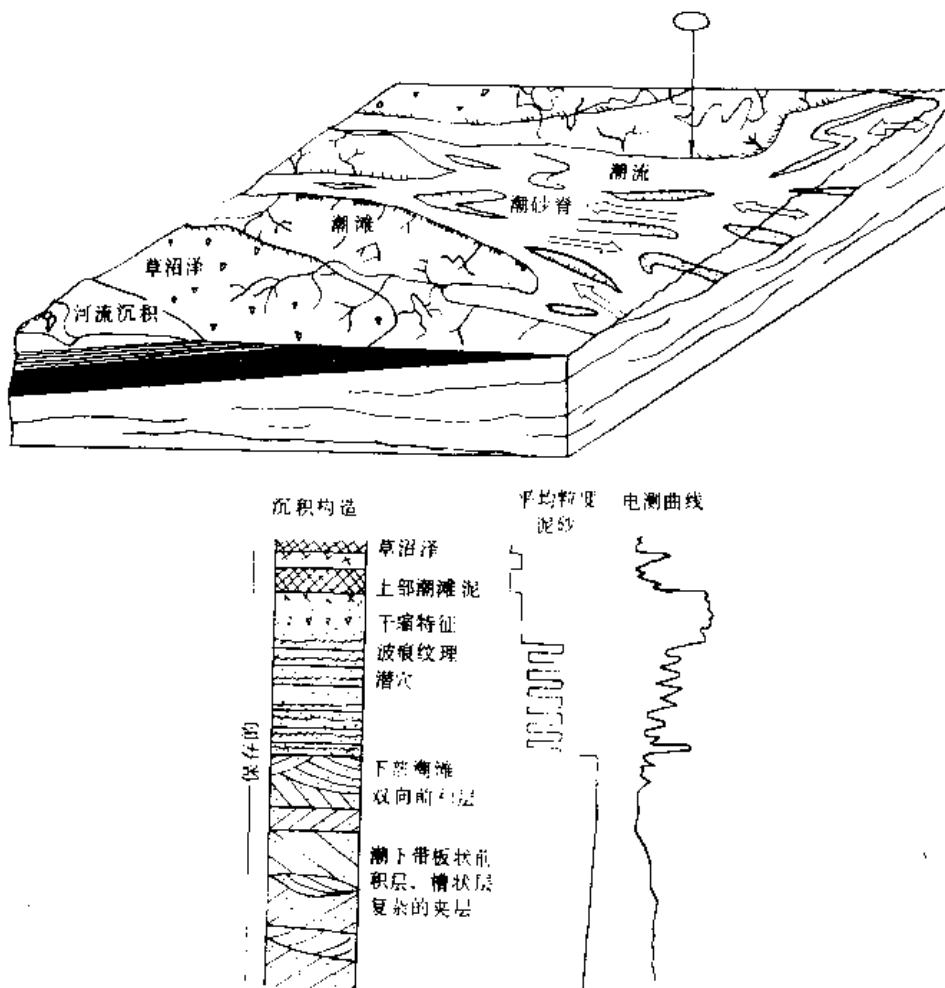


图2 大潮室河口湾与河口的潮砂脊、草沼泽及由岸线推进产生的垂直层序  
(据 Galloway 等, 1983)

向的水流侵蚀、改造早期由反向水流形成的底形,其结果,可出现由单向交错层理组成并具有多个再作用面的砂层。

**潮下带沉积** 主要由潮道砂坝和浅滩沉积物组成,是以砂质为主的沉积,由于潮流能量大,再加上波浪的作用,既有大型交错层理,也有波痕纹理发育。

**潮间带沉积** 潮间带由海向陆可依次划分为沙滩、泥滩和混合滩三个部分。

(1) 沙滩。位于低潮线附近,沉积物以砂质沉积为主,其沉积构造以大型板状或楔状交错层理及双向交错层理为特征,有时有再作用面和冲刷—充填构造。

(2) 泥滩。位于高潮线附近,沉积物主要为泥(粘土)和粉砂,发育水平纹理或块状层理和波状交错层理,并可见泥裂和植物根痕。

(3) 混合滩。位于高、低潮线之间,沉积物由薄层砂、泥互层组成,其中发育脉状、波状、透镜状层理和砂泥互层层理及各种表面特征。

**潮上带沉积** 潮上带位于平均高潮线之上,为咸水草沼泽(盐沼)沉积和粉砂与粘土纹层互层,由于生物扰动、植物根系穿插和发育结核,致使原生沉积构造大都被破坏。

在古代沉积物中,最常见的是进积型的碎屑潮坪层序,自下而上依次为:潮下带砂质沉积,潮间带的沙滩、泥滩和混合滩沉积以及潮上带的泥质沉积,总的趋势是向上变细。潮间带沉积物的厚度(包括沙滩、泥滩和混合滩)通常可以反映沉积时该地区潮差的大小。

**垂向层序** 在河口湾—潮坪环境中,由海岸线推进形成的向前进积,形成一个向上变细的层序(图2)。层序下部为潮沙脊和潮滩潮下带的砂质沉积物,上部为潮间和潮上带沉积物,包括最顶部的草沼泽沉积。

#### 参考书目

W. E. Galloway and D. K. Hobday, 1983, Terrigenous clastic depositional systems, Springer-Verlag.

T. Elliott, 《沉积环境和相》, 周明鉴等译, 科学出版社, 1985.

(陈钟惠)

heliu chenji tixi

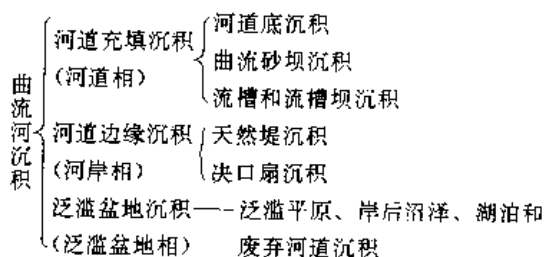
#### 河流沉积体系 (fluvial depositional systems)

河流环境内形成的一套有成因联系的沉积相组合。其沉积特征取决于河流类型。河流类型则根据河道型式确定。河道型式通常是指河道在平面上的形态特征,它受河道坡度、负载搬运方式和碎屑性质等多种因素控制,并随这些因素的变化而变化。河道型式一般分为顺直河道、曲流河道、辫状河道、网结河道等四种。

其中,前三种为单河道型式,第四种为复合河道型式。鉴于顺直河道沉积比较少见,且往往只构成局部河段,因而通常只有曲流河、辫状河和网结河等三种河流沉积体系。

**曲流河及其沉积特征** 一般,曲流河多发育在冲积平原上,其河道呈明显的弯曲形态,发育了一系列的深潭和浅滩;从凹岸侵蚀下来的物质被搬运、堆积在下一个河曲段的浅滩上,形成曲流砂坝;当河道弯曲度很高时,常出现截弯取直现象并形成牛轭湖;河道的河床坡度较小,沉积物搬运量比较稳定。曲流河道一般出现在河流的中、下游地区。

**曲流河沉积** 由河道充填沉积、河道边缘沉积和泛滥盆地沉积等三部分沉积物(沉积相)组成。其中,河道充填沉积是河流沉积最特征的组成部分,它们的正确鉴定是解释河流沉积体系的关键。曲流河沉积类型进一步细分如下(图1):



**河道充填沉积** 河道处于活动阶段的充填物。它主要由河道底沉积和曲流砂坝沉积组成。当洪水期一部分河水直接切割、穿过曲流砂坝表面时,将发育流槽和流槽坝沉积。河道底是河流所搬运的最粗粒物质的堆积场所。

(1) 河道底沉积。由移动的水下砂丘所形成的砂质沉积物,以中至大型的槽状交错层理为特征。其最下部紧靠河流侵蚀面之上,堆积了一些只经过局部搬运的漂流树木、大泥砾、生物遗体、泥炭碎块以及粗粒底负载砾石和粗砂等物质。这些堆积物,称为河道滞留沉积。

(2) 曲流砂坝沉积。曲流河沉积的最主要组成部分,它是在曲流河的凸岸处由沉积物的侧向加积所造成的,逐次覆盖在河道底沉积物之上。一个完整的曲流砂坝沉积,其厚度可以和河道的深度相当,并具有粒度向上变细的特点,变化范围可由砾石、粗砂直到细砂、粉砂。下部和中部曲流砂坝的沉积物较粗,以中到大型槽状交错层理为特征。上部曲流砂坝的沉积物以细粒为主,发育板状交错层理,攀升波痕层理以及波痕交错层理等沉积构造。

**河道边缘沉积** 包括天然堤和决口扇沉积。天然堤分布于河道两岸,它高于河道并分隔泛滥盆地,是在

洪水期由洪水中携带的沉积物在河道两岸堆积而成的。靠河道一侧,沉积物颗粒较粗,厚度较大。靠泛滥盆地一侧,沉积物颗粒较细,厚度较薄。总体上以细砂和粉砂为主,夹有一些粘土。洪水期天然堤决口导致部分河水挟带悬浮负载和底负载物进入泛滥盆地,形成扇状堆积物,称为决口扇。决口扇沉积物的内部构造,是多期洪泛、浅水水流及快速堆积的反映,表现为波痕交错层理,攀升波痕层理,板状、波状及槽状交错层理以及冲刷—充填构造等。

泛滥盆地沉积 通常由泛滥平原、岸后沼泽及湖泊沉积组成。①泛滥平原。地势稍高,平时未覆水,只在洪泛时接受沉积物。②岸后沼泽。地势较低,大体与地下水位相当,是植物遗体堆积和保存的有利场所。③湖泊。地势更低。泛滥盆地沉积是全部河流沉积物中最细的部分,以细粉砂和粘土为主。由于沉积速度小,生物扰动构造、原生水平纹层构造常受到不同程度破坏。

曲流河模式的垂向层序(图2),底部为一冲刷面,其上具水平层状或大型交错层状的粗砂或含砾砂的河道底及下部曲流砂坝沉积;向上渐变为曲流砂坝顶部的小型交错层状细砂;再向上被垂向加积的河岸和泛滥盆地沉积物所覆盖。可以说,在冲刷面以上是一个典型的向上变细层序。随着粒度的变细,交错层理的规模也由大变小,层理类型由大型交错层理过渡到小型交错层理、攀升波痕层理以至水平层理。

曲流河发育过程中,由于反复地经历截弯取直和废弃作用,河道两侧不断地被

细粒的粉砂和粘土物质所充填,这些细粒沉积物限制了河道的侧向迁移,可使整个曲流河由于淤积而变得高出泛滥盆地。这种环境可以保持到突然性的天然堤决口。这时,整个河道突然改道流过泛滥盆地的低处,

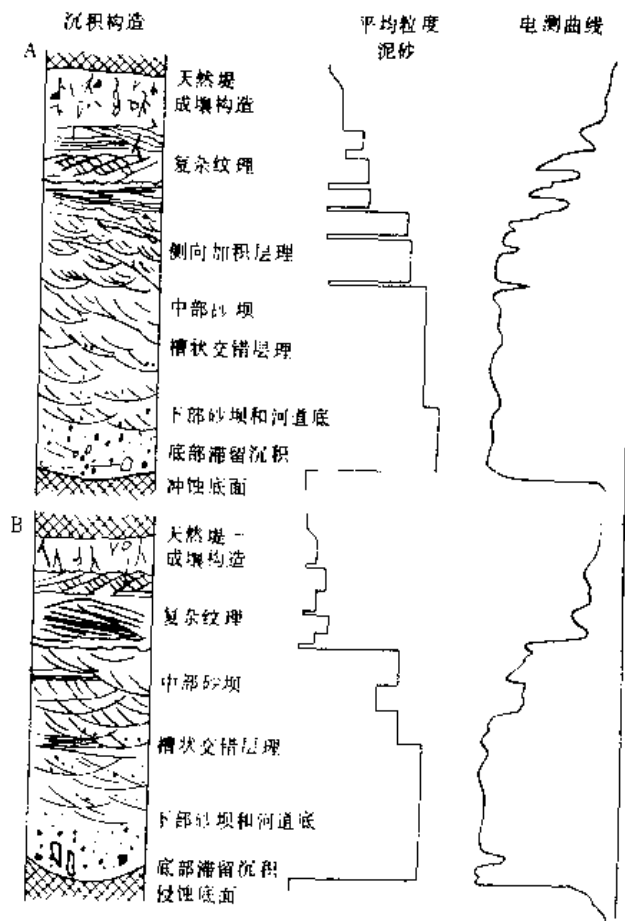
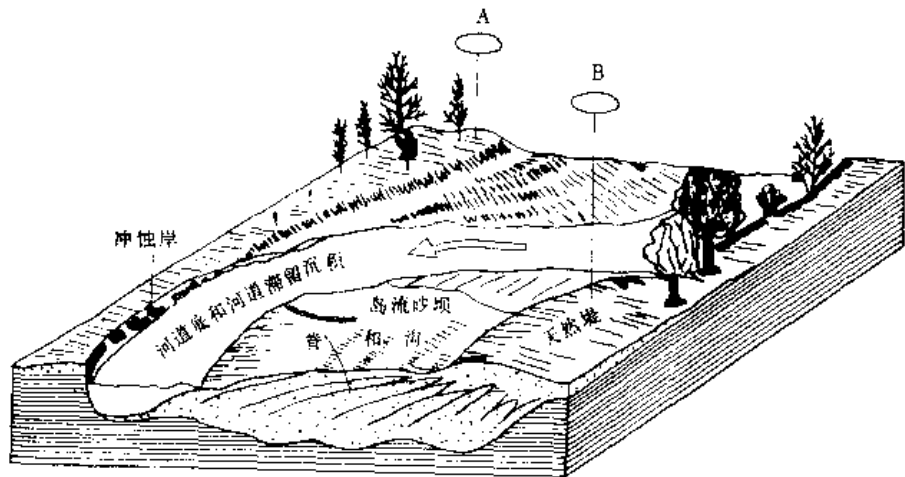


图1 由高弯度河道产生的曲流带砂体的一般沉积模式、垂直层序和电测曲线

A—中游或下游曲流砂坝典型的、完整的向上变细层序;

B—上游端曲流砂坝中常见的、截切的垂直层序

(据 W. E. Galloway 等, 1983)

造成河流袭夺现象。旧的河道废弃后,砂质沉积的狭长条带将逐渐被细粒的泛滥盆地沉积物所覆盖,使原先的泛滥盆地沉积物之上出现新的河道沉积。当具有不断下沉的构造条件时,这种过程可重复多次,其结果,整个曲流河沉积体系可达到相当大的厚度。许多条带状的砂体被泛滥盆地沉积物所环绕,细粒沉积物的总量在整个沉积体系中远远超过砂质沉积物(图3)。

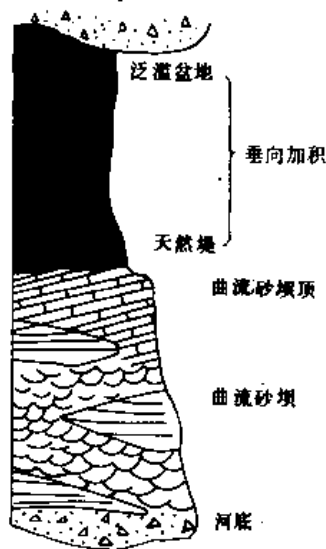


图2 曲流河沉积的垂直层序  
(据 Allen, 1970)

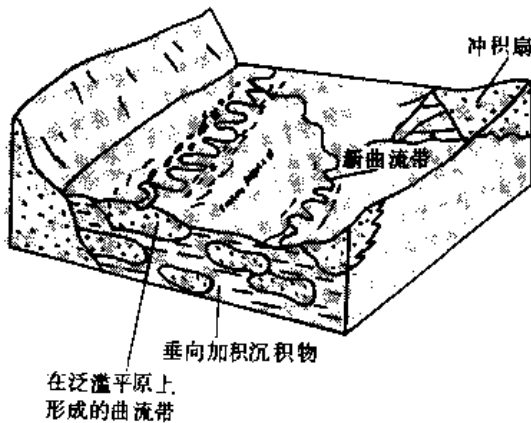


图3 曲流河沉积体系的总体形态  
(据 Allen, 1965)

曲流河沉积体系是重要的含煤沉积体系。聚煤作用发生在岸后沼泽和废弃河道充填沼泽中,岸后沼泽是河流环境中的主要聚煤场所。

**辫状河及其沉积特征** 辫状河形成于中—陡坡度的地表面,河道弯度不大,但宽度很大,水流绕着心滩不断地分支和重新汇合,使主河道被分成若干次级河道。心滩是辫状河道的主要地貌特征,它们在低水位时

暴露,高水位时则被淹没。辫状河洪水期夹带的泥砂量大,河岸常遭受侵蚀,河道迁移快。

辫状河沉积也像曲流河一样,包括河道充填沉积、河道边缘沉积和泛滥盆地沉积三种类型,但其特征和发育程度与曲流河有较明显的差别。

辫状河道以发育各种类型的河道沙坝为特征。在坝间地区的河道深处,呈透镜状产出底部滞留沉积及一些粗粒底负载沉积物,通常不显示沉积构造,但当水的深度允许形成移动的水下砂丘时,将显示槽状交错层理。河道沙坝根据其地貌形态、大小以及它们与河岸的关系,可细分为侧砂坝、横向砂坝和纵向砂坝(图4)。①侧砂坝。沿低弯度河道段的边缘发育,原生构造包括面状的和低角度加积的前积层层理。②横向砂坝。垂交水流方向,向下游移动的砂坝,是砂质辫状河中最典型的一类砂坝。洪水期,沉积物沿着大砂坝平缓的向流面向上运动,尔后堆积到背流面,形成崩落的或板状的交错层;低水位时,横向砂坝将被切割。③纵向砂坝。显示平行于水流方向的长轴,也是辫状河中常见的砂坝类型。洪水期,浅水水流经过砂坝表面,形成大量的水平层,而沿砂坝边缘和下游端则形成低—中等倾角的交错层;低水位期,砂坝的边缘受到局部冲刷。

由于河道经常发生迁移,因而既没有明显的天然堤发育,也没有很好的泛滥盆地发育。造成泛滥盆地不很发育的另一重要原因是,洪水期河流往往重新利用废弃的河道,而只在主要的洪水期,河水才从它们的主河道体系中溢流到周围的泛滥盆地。其沉积物是一些具小型交错层理和水平层理的粉砂岩和泥岩,常见泥裂、雨痕和生物扰动构造等。

迄今为止,尚未概括出一个典型的辫状河垂直层序模式。或者说,很难用一个统一的模式来表示辫状河的层序特征。由洪水引起的反复的冲刷和充填,使整个河道沉积物的粒度和交错层理的规模由下而上无规律地变化。只有在河道废弃时,沉积物的粒度和交错层理的规模才都向上变小,总的结构型式,可能是一个槽状层理和板状层理的杂乱互层,其中偶尔还夹有波痕交错纹理的互层单元。

辫状河流的河道具有宽/深比值比较大的特点,再加上河岸易于侵蚀,河道侧向迁移速度快,因此河道砂体具有侧向连续的趋势,顺古地面坡向呈宽条带状分布,底部冲刷面比较平缓。由于垂向加积的细粒沉积物厚度不大,又易受侵蚀,因而多呈不连续状。在整个辫状河沉积体系中,砂所占比例明显地多于泥,这与曲流河沉积体系形成鲜明对照(图5)。

一般认为,辫状河沉积体系含煤性较差。

**网结河及其沉积特征** 网结河是河道在平面上呈

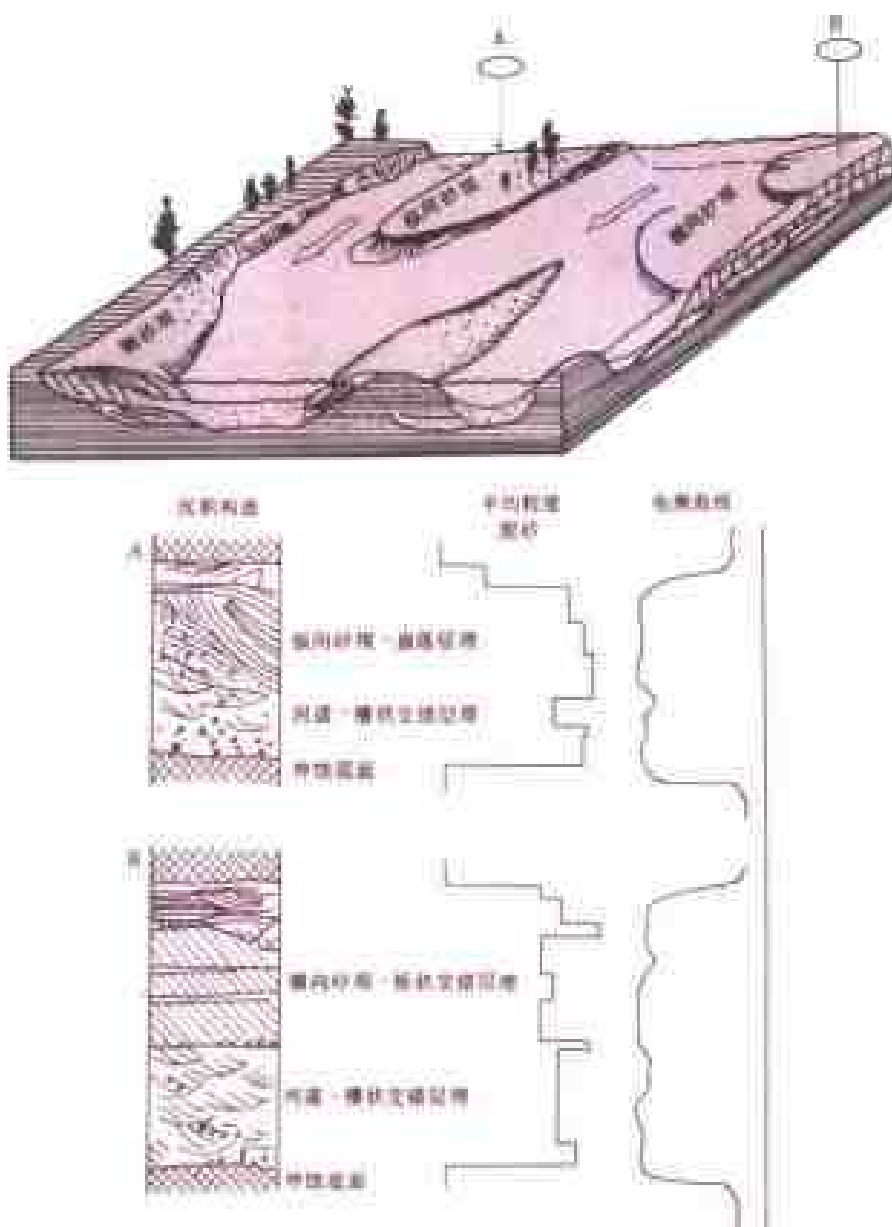


图4 低弯度辫状河道所造成的砂体的一般沉积模式、沉积构造和  
粒度垂直层序以及电测曲线图

A—以砾质纵向砂坝的迁移作用为主的层序；B—在辫状河道充填物之上相继堆积横向砂坝交错层系的层序

(据 Galloway 等, 1983)

交织网状,河道十分稳定,河道间发育有河心岛或植被岛的河流。其河道坡度小,弯度多变,导致频繁的溢岸洪泛和粉砂、粘土在湿地中的堆积。湿地环境(泥炭沼泽、岸后沼泽和洪水湖)占据了网结河体系的最广大地区(60%~90%),而河道、天然堤和决口扇的分布则要局限得多(图6)。湿地通常覆水,有稠密的植物生长,并被天然堤沉积所包围。洪水湖靠窄而深的通道与网结河中的某一条相连通,充水和排水与河流水位的涨落相一致。

网结河沉积可分别划分为三种与河道有关的相,即河道相、决口扇相和天然堤相;三种与湿地有关的相,即湖泊相、沼泽相和泥炭沼泽相。①河道相。以厚而窄、多层叠置的线状砂为特征,说明河道是非常稳定的,其沉积物可能主要是垂向上填积的产物。②决口扇相。以席状的砂质沉积物为特征,近端厚度较大,向外逐渐变薄。③天然堤相。由砂质粉砂和粉砂质砂组成,含大量的植物根。④湖泊相。由纹层状粘土和粉砂质粘土组成。⑤沼泽相。由粉砂质泥或泥质粉砂组成,含不



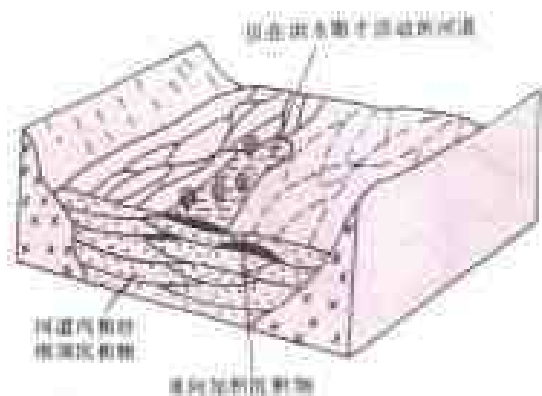


图5 典型河体系示特征  
(据 Allen, 1962)

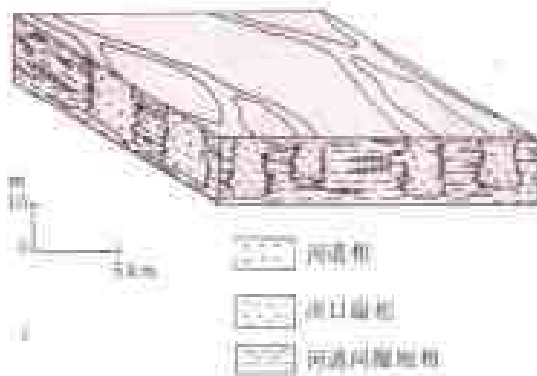


图6 上曼维尔亚群根据测井资料  
恢复的河道相分布图  
(据 Smith 等, 1980)

同数量的有机碎屑、植物根系穿插扰动现象常见。⑥泥炭沼泽相。以含厚度不大、灰分较高的煤层为特征,且分布范围不广。

加拿大艾伯塔煤田的下白垩统上曼维尔亚群是古代网结河沉积。这里, 30m 厚的河道砂岩被粉砂岩、页岩、煤和薄的席状砂岩组成的 50m 厚层序所包围。河道砂岩的宽度小于 150m, 主要由垂向加积形成。根据测井资料推断的网结河道砂的分布情况如图 7 所示, 其范围为 80km×300km。

总之, 呈网状交织的厚而窄的河道砂及近乎垂直的相的接触面, 是网结河沉积最显著的特征。

人们对网结河体系与聚煤作用的关系, 有不同的见解, 有待进一步研究。

#### 参考书目

G. de Vries Klein, 1985, Sandstone depositional models for exploration for fossil fuels (Third Edition), D. Reidel Publishing Company, 1985.

W. E. Galloway and D. K. Hobday, 1983, Terrigenous clastic depositional systems, Springer-Verlag.

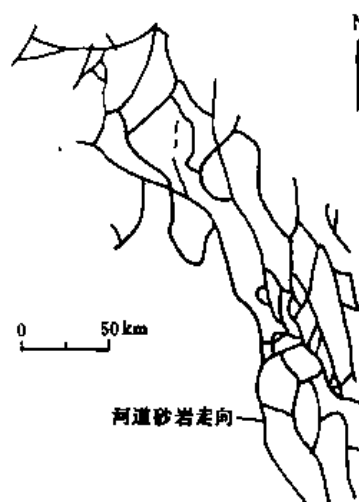


图7 加拿大艾伯塔煤田根据测井资料  
确定的下白垩统上曼维尔亚群中复合  
交织的河道砂岩分布图  
(据 Smith 等, 1980)

(陈钟惠)

hemei xianweizufen

#### 褐煤显微组分 (maceral of brown coal)

在显微镜下可辨认的褐煤有机成分。褐煤是煤化程度最低的煤, 是成煤植物遗体在泥炭化阶段经腐植化作用和凝胶化作用 (主要是生物凝胶化作用) 的产物, 其有机质中保留了成煤植物分解过程中的许多特征, 与烟煤、无烟煤的显微组分有明显的不同, 因而需赋予与烟煤、无烟煤显微组分不同的名称。而且, 由于世界上绝大多数褐煤形成于新生代和中生代, 其成煤植物与古生代烟煤、无烟煤也有不同, 因此, 国际煤岩学委员会于 1971 年建立了褐煤显微组分分类, 划分出腐植组、稳定组和惰质组等三个显微组 (下页表, 参见彩图插页第 6 页, 第 7 页)。当褐煤演化成烟煤后, 它们分别与镜质组、壳质组和惰质组相当。

褐煤腐植组的不均一性较强, 凝胶化作用差别显著, 可比烟煤、无烟煤的镜质组区分出更多的显微组分。褐煤稳定组和惰质组的显微组分与烟煤的有许多是相似的, 其差别在于, 叶绿素体是褐煤稳定组特有的显微组分, 在褐煤惰质组中无微粒体, 因为大部分微粒体是烟煤阶段的次生显微组分。

在褐煤中, 腐植组显微组分普遍占优势地位, 控制了褐煤的基本性质。仅在印度和巴尔干等少数地区的第三纪褐煤中惰质组较多。另外, 中国西北一些地区早、中侏罗世褐煤中含惰质组甚多, 使其挥发分低于 40%, 被划归不粘结煤。

研究褐煤显微组分除应用透射光、反射光外, 荧光



国际褐煤显微组分分类方案

| 显微组分组<br>(group maceral) | 显微组分亚组<br>(subgroup)         | 显微组分<br>(maceral)   | 显微亚组分<br>(submaceral)                                     |
|--------------------------|------------------------------|---|---|
| 腐 植 组<br>(huminate)      | 植物腐植体<br>(Chameralinite)     | 结构木质体 (Gestrinite)  |   |
|                          |                              | 腐木质体 (Ligninite)  | 未腐结构腐木质体<br>(recess-lignite)<br>充分分解腐木质体<br>(oxy-lignite) |
|                          | 碎屑腐植体<br>(Chameralocerinite) | 脂萘体 (Garrinite)<br>脂萘体 (Areninite)  |   |
|                          | 无结构腐植体<br>(Chameralinite)    | 凝胶体 (Gelinite)  | 多孔凝胶体 (porogelinite)<br>均分凝胶体 (Ovigelinite)               |
|                          |                              | 结壳腐植体 (compohuminate)   | 硅质体 (sphaerophinite)<br>假硅质体<br>(pseudo-sphaerophinite)   |
| 稳 定 组<br>(stabile)       |                              | 孢子体 (Sporinite)<br>角素体 (Cutinite)<br>树脂体 (Resinite)<br>木质素体 (Lignerinite)<br>荧光体 (Fluorinite)<br>藻类体 (Alginite)<br>碎屑稳定体 (lipodocerinite)<br>叶绿素体 (chlorophyllinite)<br>渗出脂萘体 (exudalinite)<br>脂萘体 (Huminite) |   |
| 惰 性 组<br>(inertinite)    |                              | 结壳体 (Gossinite)<br>半结壳体 (semihuminate)<br>脂萘体 (Crescinite)<br>藻类体 (Coccolinitite)<br>碎屑惰体 (terroclinitite)  |   |

(据《国际煤岩学手册》，1971，1975)

显微镜法对于稳定组和腐植组的研究,也必不可少。亦常用暗视域反光显微镜法和显微硬度测定法鉴定褐煤的凝胶化程度。

#### 参考书目

International Handbook of Coal Petrography. International Committee for Coal Petrology. Supplement to the 2nd Edition. Centre National de la Recherche Scientifique, 15 Quai Anatole-France, Paris (7<sup>e</sup>) France, 1971.

(张秀仪)

hengbafa dizhen kantan

**横波法地震勘探** (transverse wave seismic survey) 又称横波勘探,借助人工激发的横波(质点在垂直于传播方向上振动的一类体波,记为S

波)或转换横波在地壳中传播,探查地质构造及岩性的地震勘探方法,是地震勘探的一个新分支。横波法地震勘探一般指横波反射法,与纵波反射法相似。用炸药或可控震源激发地震波时,既产生纵波也产生横波,纵波在界面上还产生转换横波。地震勘探过去一直采用纵波法工作,把横波视为干扰波。前苏联、美、法等国对横波法的理论研究早已开始,20世纪60年代末开始试验利用横波判断岩性。70年代中期,大功率横波可控震源研究成功,美国多家公司在六个国家20个地区试验,获得了质量相当于纵波12次叠加的资料。此后,横波法地震勘探才得以实际应用。它与纵波法地震勘探联合,可以得到地下岩性的多种信息,可补充纵波法勘探之不足。90年代初,中国在煤田勘探中开始试验,同时应用于浅层工程勘探。横波法勘探已成为很有前

途的辅助方法。

**原理与分类** 地震波分为体波与面波。纵波P和横波S皆属体波范围。横波又分为垂直偏振横波及水平偏振横波。①垂直偏振横波。指局限在波传播方向铅垂平面内振动的横波能量，记为SV波。它在界面上可以与纵波相互转换，转换波（在部分路径上以纵波传播，而在部分路径上又以横波传播的地震波）法勘探中所利用的正是纵波转换的横波，记作P-SV波。②水平偏振横波。指横波的水平分量，或只有水平振动的横波，记为SH波。它在界面上不产生波的转换。横波法地震勘探可分为转换波法及水平偏振横波反射法两种。转换波法无需特殊装置，勘探深度较大，但纵波入射路径与转换后的垂直偏振横波的反射路径不对称，数据处理比较困难。水平偏振横波反射法的资料处理和解释方法与纵波法相同，且比较简单，得以广泛采用。横波法勘探一般即专指水平偏振横波反射法勘探。

横波速度  $v_s = \sqrt{\mu/\rho}$ ，式中  $\mu$  为岩石的剪切模量， $\rho$  为岩石的密度。横波速度  $v_s$  值为纵波速度  $v_p$  值的  $0.1 \sim 0.7$ ，一般  $v_s \approx 1/2 v_p$ ，这有利于提高分辨率。然而，横波的频率却比纵波的低，这又限制了横波法勘探分辨率的提高。

**激发与接收** 指震源与检波器。

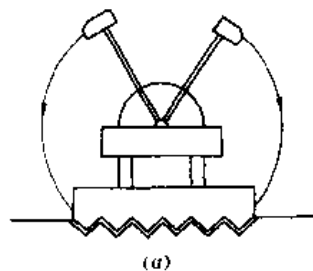
**震源** 横波震源类型有重锤震源、三排炸药震源、横波可控震源等（右图），它们所造成的水平冲力能激发出水平偏振横波。

**检波器** 水平方向灵敏度最高的专用检波器。其灵敏轴垂直测线方向安置。垂直偏振横波由纵波转换，无需特殊的激发震源，但仍需用横波检波器，其灵敏轴平行测线安置，此时炮检距较大，约为目的层深度的  $1 \sim 3$  倍。

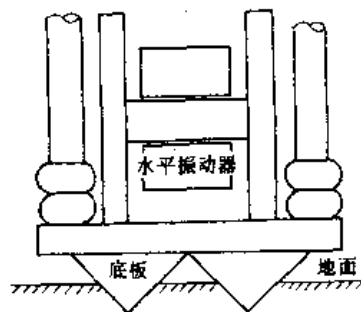
地表低速带的存在严重影响横波能量向下穿透，减小勘探深度，同时形成严重的面波干扰，对横波法勘探十分不利。

**资料处理** 横波法勘探数据处理的特点是静校正量大和其转换波法共反射点道集确定困难。在低速带中横波速度很低，故静校正量很大，而低速带厚度与速度的横向变化，使静校正变得更为复杂。转换波法在抽取共反射点道集时，必须考虑入射纵波与反射转换波路径的不对称。

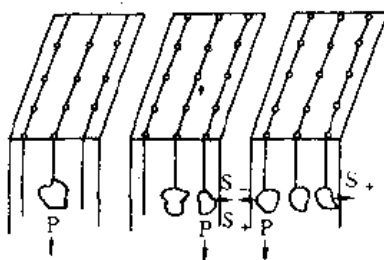
**资料解释** 横波反射法常与纵波反射法联合观测，综合解释。在横波法与纵波法各自的观测剖面上，识别并对比同一反射层位的反射同相轴，是综合解释的基础。由于横波速度约为纵波速度的  $1/2$ ，在作水平偏振横波时间剖面时，将其时间同相轴压缩一半，这就既不降低水平偏振横波剖面的分辨率，又能保持与纵



(a)



(b)



(c)

横波震源图

a—横波锤击震源；b—横波可控震源；  
c—三排炸药震源

波剖面相近似的深度关系。

利用横波勘查构造与纵波勘探相同，但它主要用于浅层勘探，能更详细划分剖面。

横波不同于纵波，它只能在固体介质或岩石骨架中传播，其速度与岩石孔隙中的流体类型及含量关系不大。借助纵波与横波的速度比，可区分真假亮点。当岩石孔隙中含油气时，纵波速度明显减小，纵波反射系数增大，而它对横波速度则影响不大。此时，若纵波剖面上有亮点，而水平偏振横波剖面上却没有显示，则是含油气的标志，是真亮点；相反，在两种剖面上都显示为亮点，则多由煤层、膏盐等的强反射形成，而非油气显示。根据纵波速度和横波速度，可计算岩石的泊松比、密度及弹性系数，用以研究岩性及岩石的工程力学参数。纵波与横波振幅或反射系数的比值，与岩石孔隙中所含气体的浓度成反比。

**展望** 横波法勘探正在以下几方面发展与完善。

(1) 准确对比来自同一地层的反射纵波与横波。

(2) 研究有效横波法勘探震源, 增大横波法勘探深度。

(3) 提高横波法勘探的分辨率。

#### 参考书目

S. N. 多门尼科等, 《横波勘探文集》, 卞少荣等译, 石油工业出版社, 1987。

Gerhard P. Dohr, Seismic shear waves, Geophysical press, London 1985.

(刘天放)

hupo chenjitixi

#### 湖泊沉积体系 (lacustrine depositional systems)

陆壳上的大型坳陷盆地或裂谷、拉张盆地内, 在湖泊环境中形成的一套有成因联系的沉积相组合。化学沉淀湖泊沉积和冲积平原上的洪泛盆地、三角洲平原上的小湖沉积则属于河流沉积体系。湖泊诞生后, 终将因被碎屑沉积物充填而消亡。湖泊沉积体系向上和横向必然过渡到湖三角洲以至河流沉积体系, 湖泊水域最后演化为冲积平原。湖泊沉积物一般以细碎屑沉积占优势, 与冲积平原远端的细碎屑沉积相似。中国地质界对湖泊沉积与烃源岩和煤的密切关系认识较早, 在一系列大型湖盆沉积中进行的煤、油气勘探和开发, 促进了研究工作的进展。

湖泊的面积和水深与湖盆成因有关。澳大利亚维多利亚湖为坳陷湖盆, 面积 7 万  $\text{km}^2$ , 水深仅 80m; 俄国贝加尔湖为大陆裂谷湖盆, 面积 3.15 万  $\text{km}^2$ , 水深达 1742m。

大型湖盆的沉积构造、垂向层序等沉积特征与浅海类似。

**湖泊的沉积作用** 影响湖泊沉积的主要因素除所处的自然地理环境外, 还有湖水波浪和温度、注入水流状况及气候条件。

**波浪作用** 内陆湖泊湖水波浪的强度受水域面积和风的强度的制约。中国青海湖和鄱阳湖的面积分别为 4450 $\text{km}^2$  和 5160 $\text{km}^2$ , 湖浪最大波长 15m, 波高 1.5m。当风速为 15m/s 时, 青海湖湖心波长最大达 50m, 波高 3m, 但 20m 深以下即为静水。大湖的浪基面一般不超过 20m。因湖浪的作用, 在湖岸地带常形成湖蚀崖、湖滩、砂嘴、滨岸砂坝等, 与滨海环境相似。当湖浪与湖岸呈锐角相交时, 常形成湖岸流, 对碎屑的搬运沉积起重要作用。

**湖水的温度** 深湖常出现湖水的温度分层和化学分层。美国密执安湖表层水温冬季为 0℃, 夏季为 20℃; 深部水温则终年为 4℃。中国青海湖表层水温冬季为 0℃, 夏季为 18.9℃; 底部冬季水温为 3~4℃, 夏

季水温为 6℃ (1962 年测), 表层与底层水温差异一般以水深 20~23m 为界, 此深度以上是动水区, 以下则为相对静水区。该界面称温跃层。

湖水表层和底层的含盐度也有所不同, 一般表层盐度低, 底层盐度高, 显示出湖水的化学分层。瑞士的苏黎士湖即为分层型湖泊, 其沉积物出现季候层理, 每个年层包括一层夏季形成的微粒碳酸盐和一层冬季形成的较薄的黑色有机泥。武昌东湖是古云梦大泽的残留部分, 面积仅 28 $\text{km}^2$ , 最大水深 4.45m, 其夏季沉积物呈灰色, 冬季为有机质沉积, 呈黑色。

**注入水流状况** 注入湖盆的河水可搅乱湖水的分层, 产生复杂的循环型式。

**气候条件** 气候潮湿, 降雨量大时, 湖水位上升, 湖岸坡度变缓, 碎屑来源减少; 气候干旱时, 蒸发作用强, 湖水位降低, 无出水口, 湖水含盐度高, 出现盐度分层, 当盐类过饱和即沉淀, 形成盐类矿床。

**湖泊的沉积相** 主要有深湖相、滨浅湖相和湖三角洲相等三种 (图 1)。大型湖盆往往被多源河流带来

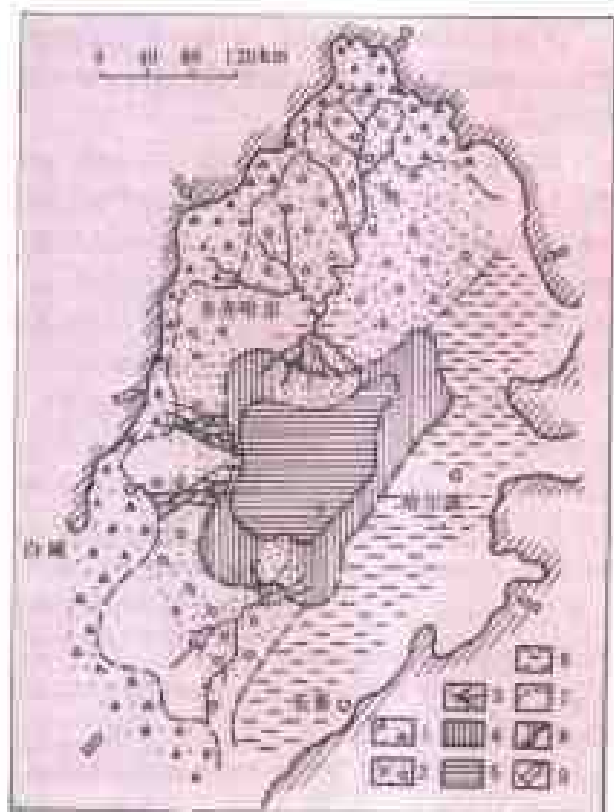


图 1 中国松辽盆地青二、三段  
河湖沉积相图

1—冲积扇相; 2—河流泛滥平原相; 3—湖三角洲相;

4—滨浅湖相; 5—深湖相; 6—泥坪相;

7—相带分界; 8—盆地边界; 9—物源方向

(据吴崇筠等, 1992)



前缘水下环境中,由于覆水较深,沉积物为泥和砂;煤层均分布在湖三角洲平原沉积组合中。薄煤层夹在湖湾决口扇砂体与湖湾泥岩之间,大面积稳定的数米厚的煤层形成在湖三角洲朵体被废弃之后。厚煤层的发育可能与湖水面逐渐缓慢上升有关。

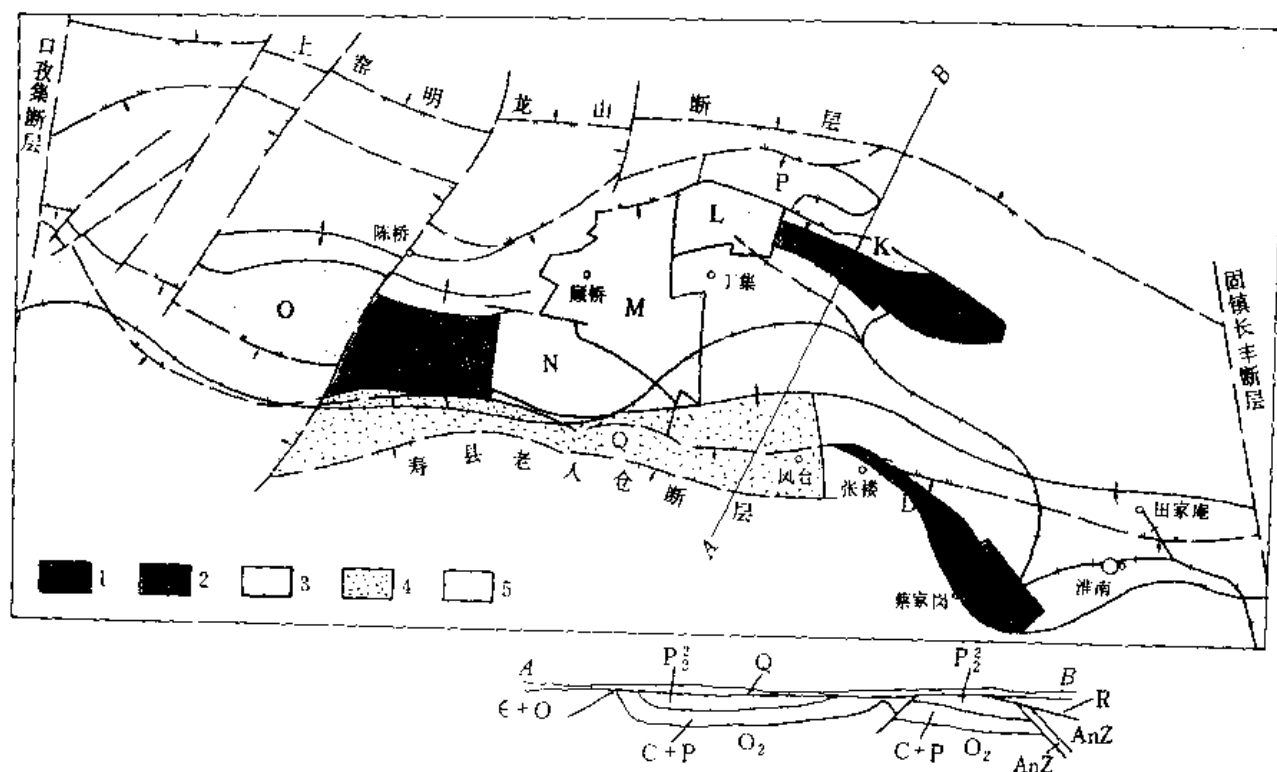
(李宝芳)

## Huainan Meitian

**淮南煤田** (Huainan Coalfield) 中国华北聚煤区南侧的石炭二叠纪煤田。它位于安徽省中北部,以淮南市为主体,东部伸入滁县地区,西部延展到阜阳附近,平面呈北西西向长椭圆状,长约100km,宽20~

30km,面积2500km<sup>2</sup>。煤田跨淮河两岸,因发现及开发从南岸开始,故名淮南煤田,后经勘探在淮河北岸更大范围内见煤,但乃沿用原名(下图)。

**地质构造** 淮南煤田为一轴向北西西的复向斜构造,主要由上古生界组成,下古生界位于煤田南、北两侧,煤田普遍被第四系覆盖。煤田南、北边缘有低角度走向逆断层发育,造成下古生界几度逆覆于上古生界之上。在复向斜中,有一组北东向的正断层发育,将上古生界切割成阶梯状块段。石炭二叠纪煤系广泛赋存于复向斜中,并往往形成次一级褶皱。燕山期岩浆活动多以小型细晶岩、煌斑岩岩脉、岩床侵入煤系,对煤层局部有影响。



淮南煤田示意图

1—生产区: A 李郢孜矿, B 谢家集矿, C 新庄孜矿, D 李嘴孜矿, E 孔集矿, F 潘集矿一号井, G 潘集矿二号井; 2—建设区: H 潘集矿三号井, I 谢桥矿; 3—勘探区: J 谢李原部矿, K 潘集矿四号井, L 丁集矿, M 顾桥矿, N 张集矿, O 刘庄矿; 4—勘探区: P 谢家集区, Q 凤台顿子区; 5—预测区

**煤系** 淮南煤田含煤地层为华北型石炭二叠纪煤系,包括:晚石炭世本溪组、太原组、早二叠世山西组及下石盒子组和晚二叠世上石盒子组。主要含煤地层为二叠纪上石盒子组、下石盒子组和山西组,石炭纪地层基本不含可采煤层。

**本溪组** 由浅海相、近海相薄层石灰岩和铁铝质粘土岩组成,一般厚5~10m。

**太原组** 由浅海相夹滨海相石灰岩、泥岩、砂岩夹

薄煤层组成,石灰岩有10~13层,薄煤层有8~11层,其中1~2层局部可采。一般全组厚100~120m。

**山西组** 由滨海相砂岩、泥岩及煤层组成,一般厚60~70m,含煤层1~3层,煤层总厚7m左右。

**下石盒子组** 由陆相泥岩、粉砂岩、砂岩、鲕状泥岩及煤层组成,厚100~150m。含煤层13~16层,大部可采,煤层总厚18.73m。

**上石盒子组** 由陆相砂岩及泥岩组成,中下部岩

石颜色偏灰,含煤层18~21层,煤层总厚13.09m;上部岩石为红、绿、黄等杂色色调,含薄煤层3~5层,均不可采。全组厚600~800m。

**资源** 淮南煤田煤炭资源量约66Gt,探明煤炭储量约15Gt,未探明煤层基本埋深超过1000m。淮河以南的老矿区,产出1/3焦煤和极少量的气煤;淮河以北的潘集矿区,主产气煤;煤中灰分以中等偏高为多,硫分一般较低;属较好的炼焦用煤。煤系中还共生有耐火粘土矿,于谢家集—新庄孜一带已查明储量6Mt。淮南老矿区深部瓦斯含量较高,有效好抽放利用前景。

**开采地质条件** 淮南煤田以中厚倾斜煤层为主,构造复杂程度中等,一般开采条件尚可。第四系松散层厚0~800m,由东向西、由南向北增厚,其中含砂砾及流砂层,建井需采用特殊凿井法施工,矿坑充水主要为大气降水及第四系砂层水的渗入,水文地质条件比较简单;但太原组灰岩喀斯特水比较复杂,在地层倒转或有断层联通时,对二叠纪煤层开采有影响。主采煤层顶板多为泥岩,易风化膨胀。除孔集矿、李嘴孜矿和李郢孜二矿外,均属高瓦斯矿井或瓦斯突出矿井。大部分煤层具自然发火倾向。煤尘有爆炸危险。

**开发概况** 明末清初在淮河以南舜耕山一带即有煤炭开采活动。1911年由私人组建大通公司,在怀远、凤台交界处进行煤炭开发,到1936年年产达0.27Mt。1929年,中华民国政府创办淮南煤矿,于舜耕山九龙岗凿井采煤,到1937年年产煤0.62Mt。1939年6月,大通、淮南两企业合并为淮南煤矿股份有限公司,由日本三井、三菱集团经营,年产量从0.10Mt增加到1944

年的0.88Mt。1945年公司被国民政府接收,到1949年产量达1.12Mt。中华人民共和国成立后,淮南煤田的开发加大步伐,淮南矿务局成立并建成9对生产矿井,年产量超过10Mt,地方煤矿年产量亦达1Mt以上(左下表)。

(王煦曾)

## huizhuanzuanjin

**回转钻进** (rotary drilling) 靠回转器或孔底动力机转动钻头破碎孔底岩石的钻进方法。其实质是在外加回转力矩和轴向压力的共同作用下,钻头切削具(或磨料)以切削、压裂或磨削等方式,连续地使很小一部分岩石从岩体上分离下来,逐渐形成钻孔。破碎下来的岩屑被冲洗介质冲离孔底并携带到地面,避免重复破碎。冲洗介质还兼有冷却切削具和维护孔壁稳定等作用。回转钻进方法可以钻凿不同直径、深度和倾角的钻孔;可采取岩心,也可不采取岩心,是煤田钻探的主要钻进方法,在其它钻探部门应用也很多。

回转钻进的动力,通常由地面回转式钻机经钻杆柱传给钻头。需取心时,钻头上方设岩心管。在深孔钻进或定向钻进中,有时将动力机放入孔底(称孔底动力机)直接驱动钻头回转,而钻杆柱则不转动,这可减少钻杆磨损和动力消耗,并便于定向造斜。回转钻进可按使用的切削具不同分为:硬质合金钻进、金刚石钻进、钻粒钻进和牙轮钻进;按是否取心分为取心钻进和无岩心(全面)钻进;按取心方法分为普通取心钻进、绳索取心钻进、反循环连续取心钻进等。

回转钻进方法从19世纪60年代开始应用于钻探工程。经过120多年的发展,现已相当完善。其配套机具品种、规格繁多,钻探工艺也很成熟。采用回转钻进方法可以钻进各种岩层,尤其是在钻进可钻性为1~7级的中等研磨性均质岩层时,以切削方式碎岩钻进效率较高,但对于极坚硬的强研磨性或砾岩等非均质岩层,其钻进效率不如冲击钻进或冲击回转钻进方法。

(李岳)

淮南矿务局各矿产煤能力表

| 矿 名   | 能力(Mt/a) | 矿 名  | 能力(Mt/a) |
|-------|----------|------|----------|
| 李郢孜二矿 | 0.45     | 李嘴孜矿 | 0.95     |
| 李郢孜一矿 | 0.30     | 孔集矿  | 0.50     |
| 潘家集一矿 | 1.20     | 潘集一矿 | 1.00     |
| 潘家集二矿 | 0.60     | 潘集二矿 | 1.10     |
| 新庄孜矿  | 1.05     | 合 计  | 11.40    |



## J

jifa jihuafa

**激发极化法** (induced polarization method, IP method)

利用地下不同岩石、矿石在人工供入的稳定电流或交变电流的激发下,其极化电位的大小和随时间、频率变化特征的差异,来寻找各种矿产、地下水和解决有关地质问题的一种电法勘探方法。

将矿石的激发极化效应用于地质勘查目的的思想首先是法国地球物理学家C. 施伦贝格(C. Schlumberger)于1912年提出的。其后,不少国家的地球物理学家在形成机制、理论、仪器、工作方法等方面做了大量研究和实验工作。到20世纪60年代得到比较广泛的应用。

中国于20世纪50年代中期开始试验这种方法,60年代制造出直流激发极化仪,70年代研究试验交流激发极化法的理论、方法和仪器。70年代以来,该方法得到广泛应用并成为寻找金属矿和地下水的重要手段。

**激发极化效应** 在建立的地下人工稳定电流场的激发作用下,岩石、矿石及其孔隙溶液之间发生复杂的电化学反应,产生极化电位而形成的一种附加电场随时间变化的现象。电子导电类岩石和离子导电类岩石都能产生激发极化效应。

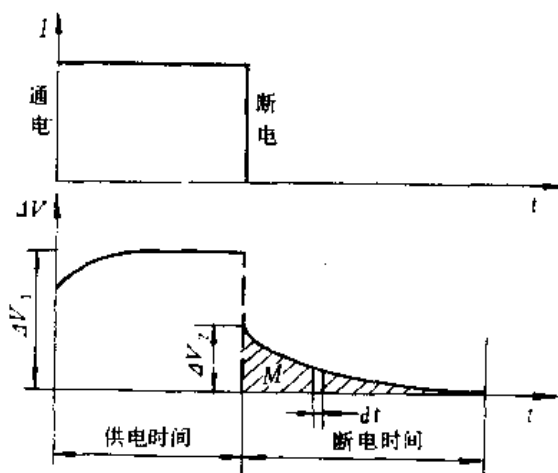
(1)电子导电类岩石或矿石的激发极化效应。主要与其中所含石墨、黄铜矿、磁铁矿等导电矿物的体积百分比和结构有密切关系。一般,导电矿物含量越多,颗粒越小,矿石(或矿化岩石)越细密,激发极化效应越明显。完全不含导电矿物的岩石,其极化电位通常很小。利用这一特性,可用激发极化法寻找金属矿产。石墨和其它一些导电金属矿物激发极化效应的强弱顺序依次为:石墨、黄铜矿、磁铁矿、黄铁矿、方铅矿、磁铁矿。

(2)离子导电类岩石的激发极化效应。主要与岩石的含水量、孔隙度,岩石中溶液的成分和浓度,孔隙的结构和大小,粘土矿物含量等多种因素有关。在溶液浓度小、含水量小(2%~5%),且孔隙适当时,其极化

电位最大。随着岩石粒度的增大,其极化电位的衰减速度变小。利用这些特性,可用激发极化法划分沉积岩,寻找淡水水源和解决其它有关的水文地质问题。

激发极化效应还与供电激发时间的长短、激发电流强度的大小以及供电频率、断电后的延迟时间有密切关系。实际工作中,通过试验选择最佳工作参数。

**激发极化参数** 激发极化效应的过程和特征(下图)是:在供电过程中观测测量极M、N的一次场电位差 $\Delta V_1$ ,断电后观测激发极化电流场(简称激电场)电位差 $\Delta V_2$ (它随时间的推移迅速衰减),构成一条衰减曲线(也称放电曲线)。根据曲线上的极化率、充电率等不同的特征参数,可以区分不同岩石、矿石和其它地质体。



激发极化效应示意图

$I$ —供电电流强度; $t$ —供电开始后的时间;

$dt$ —采样时距; $\Delta V_1$ —一次场电位差;

$\Delta V_2$ —激电场电位差; $M$ — $\Delta V_2$ 衰减曲线包围面积

**极化率** 激电场电位差 $\Delta V_2$ 与一次场电位差 $\Delta V_1$ 的百分比,用 $\eta = \frac{\Delta V_2}{\Delta V_1} \%$ 表示。 $\Delta V_2$ 随时间的推移而迅速衰减变化, $\eta$ 代表各采样时间的值或某一时间区间的平均值。

**充电率** 激电场电位差  $\Delta V_2$  衰减曲线及其零值渐近线所包围的面积  $M$  与一次场电位差  $\Delta V_1$  的比值,

用  $M \approx \frac{1}{\Delta V_1} \int_{t_1}^{t_2} \Delta V_2 dt$  表示, 单位为 ms 或 s。

**工作方法** 激发极化法按供电和测量内容的不同, 可分为直流 (时间域) 激发极化法和交流 (频率域) 激发极化法。

根据地质任务要求, 按一定的测点间距布置测线组成规则或不规则测网。观测时, 先在地面打入两个或两组供电电极 A、B 和两个或两组测量电极 M、N。

**直流激发极化法** 由供电电极向地下供入直流电流, 在供电过程中和断电后, 观测两个不极化测量电极 M、N 之间的一次场电位差  $\Delta V_1$  和激电场电位差  $\Delta V_2$  及其衰减特性参数。

**交流激发极化法** 由供电电极分别向地下供入几个不同频率的低频交流电流, 测量两个测量电极 M、N 之间电位差的幅值或激电场的振幅和相位, 或虚分量和实分量等多种参数。

将实测及转换计算出的各种参数作成剖面图、平面图。再结合作业区已有的地质、钻探及其它物探资料, 对激发极化法成果进行地质解释。

激发极化法根据勘探对象的不同, 可采用不同的电极排列方式, 与电阻率法相同。它可采用激发极化测深法、中间梯度剖面法、联合剖面法、偶极剖面法, 还可进行激发极化充电法和激发极化测井。①激发极化测深法是固定测量电极的电极距, 不断增大供电电极的电极距, 以了解测点下方不同深度的地质情况, 并对探测对象的埋藏深度作出解释。②各种激发极化剖面法用于探测埋藏较浅的探测对象, 了解其位置和范围等。③激发极化充电法是利用探测对象的天然或人工揭露的露头进行充电, 在地面观测激发极化电位差, 以追踪探测对象的延展分布情况。

**应用概况** 激发极化法是寻找和勘探金属矿产的有效方法; 在寻找地下水源和解决某些水文地质问题方面效果也很好; 还曾用以寻找石油和天然气; 在煤田地质勘探中, 主要用以寻找和追踪薄覆盖层下的急倾斜无烟煤煤层和为矿区寻找地下水水源和解决有关水文地质问题。

20 世纪 80 年代后期, 激发极化法已普遍使用带微处理机的数字仪器, 其操作自动化程度、观测精度和抗干扰能力都有明显提高; 观测数据既可以内存, 也可以记入盒式磁带, 并可传输到外接计算机上进行处理和作图。

(黄治平)

Jixi Meitian

**鸡西煤田** (Jixi Coalfield) 中国东北聚煤区东部的晚侏罗世煤田。它位于黑龙江省东部鸡西市及鸡东县, 并伸入邻接的密山、穆棱、林口三县, 面积约 34km<sup>2</sup>。产炼焦煤 (下页图)。

**地质构造** 晚侏罗世煤系在黑龙江省东部形成于广阔的近海古地理环境, 经中生代末构造变动, 以断块及宽缓褶皱形式部分保存于鸡西煤田。煤田基底为中、下元古界麻山群, 出露于煤田外围。煤田中部东西走向的平麻逆断层将煤田分割为南北两部分: 北部为一轴向东—西的向斜构造, 北翼缓、南翼陡, 并被平麻逆断层切断, 翼部由煤系组成, 轴部为下白垩统; 南部为一向南东倾斜的单斜构造, 发育有轴向北东的次级向、背斜, 主要由煤系及其上覆的下白垩统组成。中生代末的岩浆活动对煤田影响不大, 仅在张新矿见有闪长斑岩, 以岩床形式侵入部分地段的煤层。

**煤系** 鸡西煤田的含煤地层以一套陆相地层为主, 夹 1~2 层滨海相沉积, 厚数百米至 2000 余米, 称鸡西群。其时代归属有晚侏罗世和早白垩世两种意见。鸡西群可分三组, 自下而上为:

**滴道组 (J<sub>3</sub>d)** 由砾岩、砂岩、泥岩、炭质泥岩组成, 夹薄煤层, 局部地区有安山岩和块集岩, 全组厚 0~400m。

**城子河组 (J<sub>3</sub>c)** 由砾岩、砂岩、泥岩、凝灰岩及煤层组成, 全组厚 70~1100m。

**穆棱组 (J<sub>3</sub>m)** 由砾岩、砂岩、泥岩、煤层组成, 含多层凝灰岩及凝灰质岩层, 全组厚 150~900m。

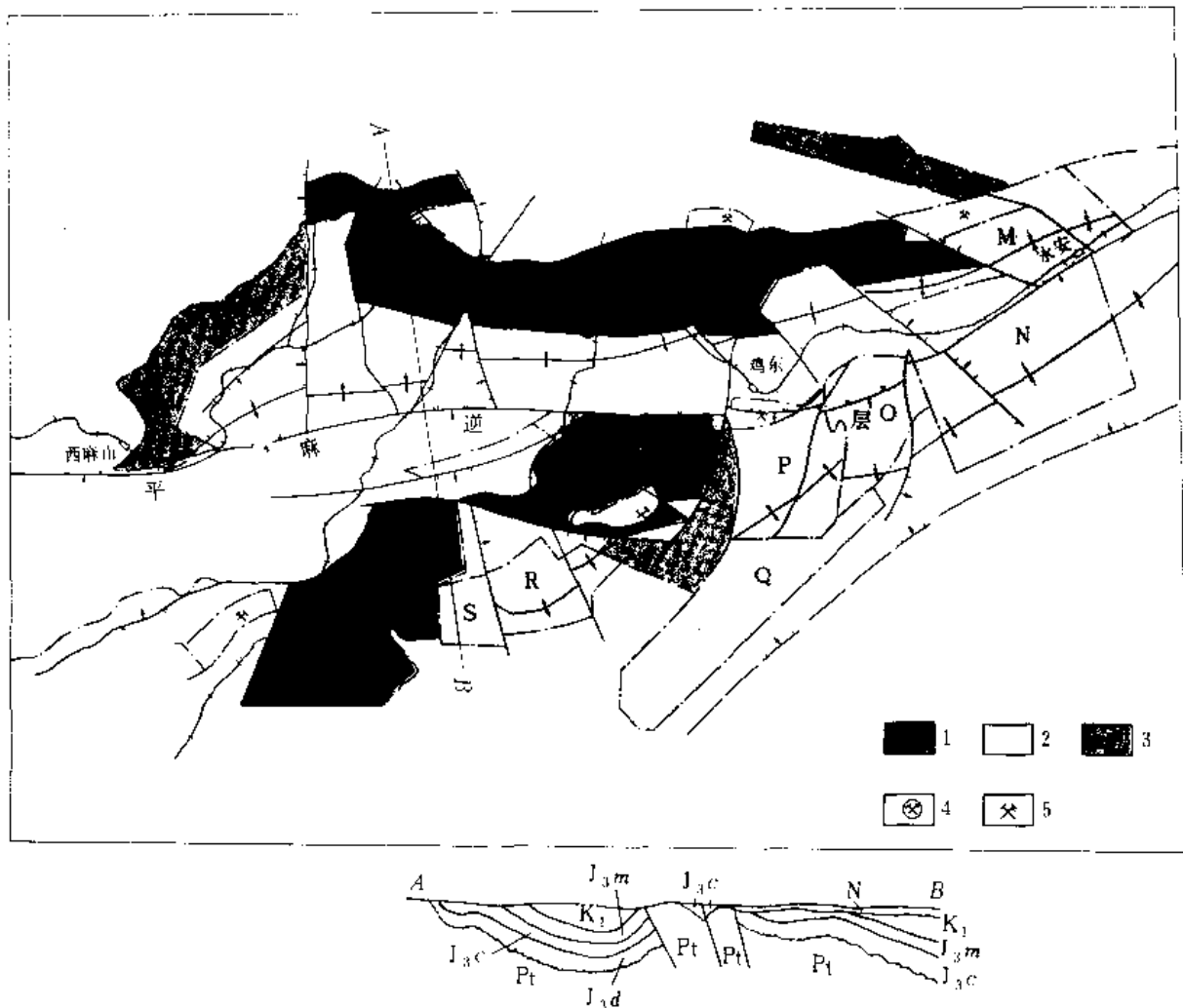
城子河组及穆棱组为鸡西煤田内主要含煤地层。城子河组含煤层 7~40 余层, 其中可采煤层 3~17 层, 由西往东煤层层数增多, 平均可采煤层总厚度 9.95m。穆棱组含煤层 10~17 层, 其中可采煤层 2~7 层, 由西往东煤层层数减少, 平均可采煤层总厚度 5.65m。

在鸡西煤田东部红火一带的新第三系中, 夹有褐煤层, 部分地区达可采厚度。

**煤炭资源** 鸡西煤田的煤炭资源量约 17Gt, 探明煤炭储量 3Gt。煤种以 1/3 焦煤为主, 其次为焦煤、肥煤、瘦煤。另有部分弱粘煤及长焰煤 (尚未开发)。煤质为中等灰分, 硫分很低, 适于炼焦。

**开采地质条件** 鸡西煤田的煤层以薄煤层为主, 少量为中厚煤层, 倾角一般为倾斜及缓倾斜, 构造复杂程度中等。水文地质条件简单, 属坚硬裂隙充水矿床水文地质类型。该煤田中的生产矿井大部属高瓦斯矿井, 少数为低瓦斯矿井, 部分为瓦斯突出矿井。煤层无自然发火倾向, 但煤尘爆炸危险性较大。地温梯度高, 对煤矿深部开采有影响。





鸡西煤田示意图

1—生产区：A大通沟矿，B滴道矿，C城子河矿，D正阳矿，E麻山矿，F东海矿，G张新矿，H二道河子矿，I小恒山矿，J恒山矿，K平岗矿，L穆棱矿；2—规划区：M永丰矿，N永安矿，O平岗矿，P荣华矿，Q永发矿，R合生矿，S邱家矿；3—找矿预测区：T八塘坑区，U恒山大同村区；4—矿务局；5—重点地方煤矿

鸡西矿务局各矿产煤能力表

| 煤 矿 | 能力 (Mt/a) | 煤 矿  | 能力 (Mt/a) |
|-----|-----------|------|-----------|
| 大通沟 | 0.24      | 二道河子 | 1.05      |
| 滴 道 | 1.60      | 小恒山  | 2.40      |
| 城子河 | 2.85      | 恒 山  | 1.10      |
| 正 阳 | 0.90      | 平 岗  | 0.34      |
| 麻 山 | 1.20      | 穆 棱  | 0.87      |
| 东 海 | 0.90      | 合 计  | 13.95     |
| 张 新 | 0.30      |      |           |

开发概况 1924年中俄合办穆棱煤矿，1931年后

改由日本经营，最高年产量近0.40Mt（1938年）；日本统治时期还开办了滴道（1935年）、城子河、恒山（1938年）等煤矿，1944年合并为密山煤矿公司，当年产量达2.90Mt。1945年后，煤田陆续开发，已建成鸡西矿务局，下辖12个矿，年总生产能力达13.95Mt，另有5个选煤厂，能力在7.00Mt/a以上（左表）。加上地方煤矿的开采，全煤田年产量已近30.00Mt。

（王燕曾）

### Jialiya Meitian

贾里亚煤田（Jharia Coalfield） 印度二叠纪煤田，位于印度东部比哈尔邦。煤田长38km，宽19km，面积约450km<sup>2</sup>，是印度最大的煤产地和主焦煤的唯一

源地。

**地层** 含煤岩系是二叠纪冈瓦纳系,煤炭资源富集在其下部。下二叠统由下而上分为达尔杰尔(Talchir)组、格勒尔巴里(Karharbari)组、伯拉格尔(Barakar)组和巴伦(Barren)组;上二叠统为拉尼根杰(Raniganj)组。整个含煤岩系除底部达尔杰尔组外,其余各组总称为达莫德(Damodar)煤系,其中三个具经济价值的含煤组。

(1) 达尔杰尔组。厚约 250m,底部是巨砾沉积,覆盖在太古界片麻岩上,向上变为砂岩,不含煤。

(2) 格勒尔巴里组。以明显不整合覆于达尔杰尔组之上,厚 225m,主要由粗砂岩、砾岩和少数厚度为 1.2~9m 的单煤层组成,称底部煤组。煤层分岔频繁。

(3) 伯拉格尔组。即下煤组,是主要含煤段。厚 1150m,由单调序列的砾岩、砂岩、粉砂岩、页岩、碳质页岩、粘土和煤组成,含煤 2~18 层,全部为主焦煤。

(4) 巴伦组。厚 850m,由含泥、铁质结核砂岩组成,不含煤。局部形成有工业意义的铁矿床。

(5) 拉尼根杰组。即上煤组,厚 450m,由细粒砂岩、泥质页岩和煤组成,含煤 14 层,具有经济价值。

**构造** 煤田出现在“半地堑”构造中,呈不对称的近纬向并向西倾伏的向斜。有一主断层截切其南翼并构成南部边界,断距约 1500m。向斜内分布有大量以斜交为主的断层。岩层产状较平缓,在断层附近变为急倾斜(35°~45°以上)。

**含煤性** 根据煤质和煤的其它特征,主要含煤段伯拉格尔组可分为下、中、上三段。下段和中段煤层厚度中等至极厚;上段煤层厚度薄至中等。在下段中,煤层通常与页岩夹研互层,煤灰分高,矿物质多,难于洗选;中段和上段煤层的煤质较好,可选性较好。拉尼根杰组煤层厚度中等,含中等粘结煤。

该煤田共有 10 层煤可采,其中有 4 层厚度为 8.4~15m,其余煤层厚度为 2~3.6m。煤层中常见云母橄榄岩侵入体,使煤变为天然焦。

该煤田煤的灰分高达 15%~26%,硫分和磷分低,含碳量为 89%~91%,挥发分为 14%~29%,发热量 27~33MJ/kg,可炼制优质焦炭。其煤岩特征是壳质组贫乏,惰性组含量高。

**资源** 贾里亚煤田的煤储量在印度各煤田中居首位。垂深 600m 以浅的总储量为 12.5Gt,其中炼焦煤 2.0Gt 以上。

**开采地质条件** 贾里亚煤田煤层多,大部分厚度大,缓倾斜,部分地区倾角较陡。煤层有时分岔。常见岩墙和岩床侵入煤系。瓦斯含量低。煤易于自燃,潜伏期为 9~12 个月。此外,由于大面积疏干排水,煤田中

地下火蔓延了 50 多年,许多煤矿一直受到困扰。

**开发概况** 贾里亚煤田的煤炭资源已勘探开发了一个多世纪,现已成为印度最大的煤产地,其产量曾占全印煤产量的 40%,生产的煤炭主要供附近钢铁厂炼焦和电厂发电。以地下开采为主,浅部露天开采,拥有年产量 12Mt 的大露天矿。

(沈襄鹏)

jianboqi

**检波器** (geophone) 地震勘探时,安置在地面、钻孔内、水体中,以拾取来自人工震源的大地振动的探测器或接收器。它是一种将地震波到达地面引起的机械振动转换为电信号的机电转换装置或换能器。地震信号首先经过它输入地震仪的记录系统。检波器按作用原理分为动圈式及压电式两类;按接收波型分为纵波检波器及横波检波器两类。

**动圈式检波器** 又称速度检波器,由永久磁铁、线圈、弹簧片与引出线等组成。永久磁铁固定在外壳上,工作时与地面耦合;线圈通过弹簧片悬挂在磁铁的缝隙中。当地震波到达时,磁铁随地面振动,线圈由于惯性作用与磁铁产生相对运动而切割磁力线,产生感应电信号输出,输出电压与地面质点在振动中的运动速度成正比,随质点振动频率增大而升高,直至达到一个稳定值(称灵敏度)。此类检波器具有高通滤波的特性,且随阻尼大小的不同而异。系统固有频率(或自然频率)、阻尼系数及灵敏度,是此类检波器的主要参数。此类检波器广泛用于陆上地震勘探。在煤田地震勘探中使用的动圈式检波器,其自然频率有:40Hz、60Hz 及 100Hz 等几种。

**压电式检波器** 又称加速度检波器,由压电陶瓷片组成。当其周围水压发生变化时,压电晶体发生变形而产生电动势,输出电信号,其输出电压与周围液体介质质点振动中的运动加速度成正比。压电式检波器广泛应用于海洋及湖沼地震勘探。

**涡流检波器** 由永久磁场、线圈、惯性部件和机壳等组成。地震波到达地面时,惯性部件与固定在机壳里的永久磁场作相对运动产生涡流,涡流又使固定在机壳里的线圈产生感应电流输出。涡流检波器的频率在自然频率以上时,其灵敏度随频率增高而增大,适用于高分辨率地震勘探,利于压制低频干扰。但其总的灵敏度低于常用的动圈式检波器,不利于接收深层反射信号。

此外,还有二分量检波器、三分量检波器(包括万能检波器)。借助它们,有利于了解地震波的传播方向、偏振特点和识别波型。二分量检波器多用于矿井井下

地震槽波观测。三分量检波器多用于多波勘探及钻孔中测量。

(刘天放)

jiaoliu dianfayi

**交流电法仪** (AC electrical prospecting apparatus)

各种交流电法勘探方法野外观测使用仪器的总称。交流电法的方法种类较多,所观测交流信号的频率范围差异性很大(从0.1mHz到1GHz),除个别仪器可供几种方法兼用外,大多数交流电法仪皆仅供某一种交流电法专用。现有的某些多功能仪器,往往也只能满足一两种方法的需要。

**分类** 交流电法按所利用场源的不同,分为主动场源法和被动场源法两类。主动场源法使用供电电源向地下发射交流电磁场,场的频率、强度可人为控制。被动场源法以大地自然存在的交变电磁场为场源,不用人工发射场源,其场源的频率、强度不能人为控制和改变。

目前常用的交流电法及其所使用仪器,见下表。

常用交流电法及其仪器一览表

| 分类    | 方 法     | 仪 器  |
|-------|---------|--|
| 被动场源法 | 大地电磁法   | 专用或多用途仪器,其代表为中国的SD-1型(专用)、美国的GDP-14型(多用途)仪器等             |
|       | 甚低频法    | 专用仪器,其代表为法国的spinalYLF型,中国的DDS-1型仪器等                      |
|       | 音频大地电磁法 | 专用仪器,其代表为中国的SD-1型  |
| 主动场源法 | 频率电磁测深法 | 专用或多用途仪器,其代表为中国的DP-1型(专用)、美国的GDP-14型(多用途)、加拿大的TV型仪器等     |
|       | 瞬变电磁法   | 专用或多用途仪器,其代表为中国的LC型、WTC-2型,美国的EM-27型(专用)、GDP-14型(多用途)仪器等 |
|       | 无线电波探测法 | 专用仪器,其代表为中国的TSGT-2型(钻孔探测)、WKT-0型(浅层探测)仪器等                |
|       | 地质雷达法   | 专用仪器,其代表为日本的Geo-radar-1型,美国的Compu-Radar2000型仪器等          |

续表

| 分类    | 方 法   | 仪 器                     |
|-------|-------|-------------------------|
| 主动场源法 | 航空电磁法 | 专用仪器,其代表为加拿大的Tri-con系统等 |

**甚低频电磁仪** 以长波电台发射的电磁波为场源,观测地面甚低频磁场和电场的专用交流电法仪。仪器结构简单,包括一个接收机,两个电极和一个小的磁场接收线框。仪器工作频率与所利用的长波电台发射频率相同,一般以kHz为单位。可以测电场水平分量、磁场水平分量和垂直分量,计算磁场极化椭圆倾角。仪器重量一般为数公斤。这种方法主要用于浅层勘查,用以寻找浅部矿体、断裂带、喀斯特发育带、地下管道,以及进行电阻率快速地质填图。

**音频大地电场仪** 利用地球自然存在的大地电场的音频部分为场源,在地面测点上观测电场水平分量的专用交流电法仪。它是一种非常简单、轻便的仪器。仪器本身就是—个交流电场信号接收机。工作时,在地面打入两个测量电极进行观测。工作频率一般为0.01~30kHz。这种方法主要用于浅层,探测电阻率有差异的目的物,探测深度一般不超过30m。可用于薄覆盖区的地质填图,寻找断裂带、喀斯特发育带、地下洞穴和管道等。

**其它仪器** 在煤田地质勘探中常用的其它交流电法仪有:频率电磁测深仪、瞬变电磁仪、地质雷达、无线电波透视仪等。

**发展概况** 20世纪70年代以来,交流电法从方法到仪器都有较快的发展,方法种类增多,应用领域不断扩大,仪器也不断改进完善,是电法勘探技术发展的主要潮流。当代交流电法仪普遍配有微处理机,提高了仪器工作的自动化程度、观测精度和抗干扰能力。由于地球表面交变电磁场的干扰因素很多,频段范围很广,因而进一步提高交流电法仪器的抗干扰能力,提高发射功率,增大勘探深度和提高信噪比,是普遍需要继续研究的重要课题。

(黄治平)

jingangshi zuanjin

**金刚石钻进** (diamond drilling) 利用金刚石钻头破碎岩石形成钻孔的钻进方法。金刚石钻头几乎可以钻进各种硬度的岩层,尤其是钻进可钻性在7级以上的岩层时,已成为主要碎岩工具。借助不同性能的钻探机,金刚石钻进可以钻凿不同孔径、深度和倾角

的钻孔。为了提高钻探效率、降低成本,地质勘探钻孔常用较小直径(60mm以下)的金刚石钻进。而煤田钻探因对煤心采取量有一定要求,金刚石钻进的钻孔直径一般较大,目前常用75mm、94mm、113mm,最大为190mm。

**碎岩机理** 金刚石钻进所使用的金刚石种类和切削具形状不同,其碎岩机理也不同,①用天然或人造金刚石单晶制做的钻头,金刚石出露小,密度大,碎岩主要以压裂、压皱的表面疲劳破碎和磨削为主,小切削为辅,岩粉颗粒较细,要求使用较高转速、较小泵量和钻压,主要适用于钻进可钻性在7级以上的各类坚硬岩层;②用人造金刚石复合片或聚晶作钻头切削具时,碎岩以小切削为主,磨削为辅,岩粉颗粒较粗,钻进时,要求使用中等转速(250~400r/min),较大钻压和泵量,主要适用于钻进可钻性在7级以下的软和软硬互层的岩层。

**主要优点** 金刚石钻进的钻效高,钻孔质量好(岩、矿心采取率高,钻孔弯曲小),钻孔事故少,钻探设备轻便,劳动强度低,适用范围广。由于金刚石钻头使用寿命长,适合于长筒取心和绳索取心钻进,可减少辅助时间,降低综合钻探成本。

**钻探设备** 通常选用转速较高的立轴式或全液压力头式钻机,配有较高泵压和较小泵量的泥浆泵。所用钻具主要分单管取心钻具和双管取心钻具两大类,都是利用卡簧卡取岩心。单管钻具用于均质、完整、稳定的岩层。双管钻具用于非均质、裂隙发育,岩、煤心采取较困难的岩、煤层。个别矿区和少数钻孔不要求取心,可用无岩心钻头钻进,其钻具较简单,钻头可直接与钻铤、钻杆或较短的岩心管(起导正作用)连接。

#### 钻进工艺要点

(1)采用金刚石钻进时,要根据岩层岩性合理地选择金刚石钻头,配备合适的扩孔器和卡簧。当用几个钻头完成同一钻孔的同一直径孔段时,要根据钻头、扩孔器、卡簧的内外径大小,合理搭配和排队使用;钻头要先用新的,外径大、内径小的;卡簧要先用新的,内径小的;扩孔器要先用新的,外径大的,以尽量减少钻进中扩孔和岩心堵塞或脱落。必要时,还要配上相应的减震器、扶正器等,以提高钻具在高转速状态时的稳定性。

(2)金刚石钻进对冲洗液的要求较严,必须使用润滑性能好的优质低固相或无固相冲洗液,定期检测其各项性能指标,并根据孔内情况的变化,及时调整其性能,以保证钻头和钻具高速、稳定回转,提高钻进效率,延长钻头使用寿命。

(3)金刚石钻进要求孔内洁净,不允许有金属落

物;禁止从孔口投放金属卡料卡取岩心;不允许用正常钻进的金钢石钻头(特别是新钻头)套取横卡在钻孔中途的脱落岩心和大量脱落在孔底的岩心,而应先用旧钻头或磨孔、扫孔专用钻头清除孔内残留岩心,再换正常钻进钻头。当由硬质合金钻进转换成金刚石钻进时,必须先进行磨孔,将孔内及孔壁存留的硬质合金碎块清除干净。

(4)升、降钻具操作要平稳,不允许钻头碰撞孔壁或换径台阶。钻头下至离孔底500~800mm处后,要缓慢试探孔底有无脱落岩心和过多的岩粉沉淀。如有,必须将钻具提升一定高度,开泵冲洗孔底岩粉30min以上,然后用低速、轻压套取存于孔底的少量脱落岩心或残留岩心,待钻具到底后,先用低转速、轻压钻进10~20min再转入正常钻进。

(5)使用专用工具拧卸金刚石钻头、扩孔器,不允许敲打或用普通牙钳硬性拧卸,以免夹坏钻头,使胎体产生裂纹、变形,造成钻进时胎环碎裂或脱落。

(6)孕镶金刚石钻头主要靠提高钻头转速实现高速钻进,特别是利用小口径钻头钻进坚硬岩层时,在设备允许,管材及其连接强度足够,工作稳定,岩心较完整、均匀,孔壁稳定,冲洗液选择和使用得当的前提下,应尽量采用高转速钻进。

**发展概况** 天然金刚石是至今已知物质中最坚硬的一种矿物。天然金刚石用于钻探已有100多年历史,在地质及石油勘探钻进中得到广泛应用,其用量已超过工业金刚石总用量的1/5。中国对金刚石钻进的研究,起步于20世纪60年代初。70年代,随着中国人造金刚石工业的迅速发展,人造金刚石钻头在地质勘探钻进中得到迅速推广。这一时期,金刚石钻进主要用于可钻性在7级以上的岩层。80年代后,由于人造聚晶及复合片钻头的研制成功,其应用范围又扩展到钻进可钻性在7级以下的软岩、软硬互层和中硬岩层。各种不同种类、不同几何形状的金刚石切削具、不同唇面结构 of 金刚石钻头得到全面推广,取得了较显著的技术效果和经济效益。到80年代后期,适应金刚石钻进的新型钻探设备、机具、管材开始进入标准化,系列化阶段,小口径测井仪、测斜仪,新一代电子式钻进参数仪,新型冲洗液等,逐步在钻探生产中推广应用。

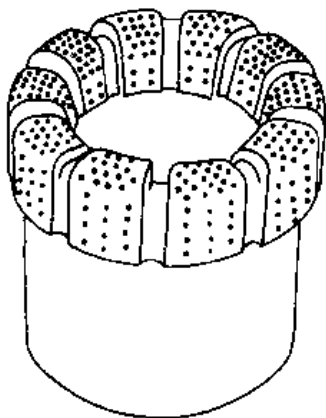
据统计,到80年代末,人造金刚石钻头在中国金刚石地质钻探中的使用量,已占金刚石钻头总数的90%,其使用面可以覆盖软到极坚硬的各种岩层。煤田钻探中,过去在可钻性为1~3级的软岩层只能用硬质合金钻进,而新型人造金刚石复合片钻头的出现,使这种局面开始改变。

(李 岳)



jingangsh zuantou

**金刚石钻头** (diamond bit) 镶嵌有金刚石或其制品作为切削具的钻探钻头(下图)。通常由大颗粒金刚石、人造金刚石复合片、人造聚晶金刚石或孕镶金刚石工作层等切削具、胎体和钻头体三部分组成。用复合片作切削具时,也可直接镶焊在事先加工好的钻头体上。为便于冲洗液流动,在钻头端面开有多种形状的水口和水槽。



表镶天然金刚石钻头

金刚石钻头的分类方法很多,按金刚石的种类可分为天然金刚石钻头、人造金刚石钻头、聚晶金刚石钻头、复合片钻头;按金刚石在胎体中的镶嵌形式可分为孕镶和表镶两种金刚石钻头;按制造方法可分为热压、无压、冷压浸渍、粘结、电镀、镶焊等金刚石钻头;按用途可分为取心、不取心金刚石钻头;按配用的钻具可分为单管、双管、绳索取心等金刚石钻头。

金刚石钻头的适用范围很广,既可钻进坚硬和极坚硬的岩层(表镶天然金刚石钻头或单晶孕镶金刚石钻头);也可钻进软至中硬及软硬互层的岩层(聚晶和复合片钻头)。金刚石钻头的推广应用,不仅淘汰了钢粒钻头,而且在很多情况下也代替了硬质合金钻头。

金刚石钻头的使用效果,主要与①金刚石的粒度、强度、耐热性、抗冲击性;②钻头胎体配方、硬度、密度、强度、抗磨性、抗冲刷性等物理机械性能;③钻头烧结温度及升温规范、烧结压力及加压规范、保温保压时间及其规范、冷却方式等烧结工艺规程;④钻头唇面及水口结构形状;⑤钻进设备及钻具的配套情况;⑥钻进工艺规程选择的合理性、控制程度及操作人员的技术素质等因素有关。

**表镶天然金刚石钻头** 将大颗粒天然金刚石按一定的排列形式单层镶嵌在胎体工作表面上的钻头。它适用于钻进可钻性在5~9级的中硬及坚硬的中研磨性、非打滑岩层,钻进时效高、寿命长,对钻机转速要

求不高。

**表镶聚晶金刚石钻头** 将圆柱状或三棱柱状聚晶金刚石按一定的排列形式,单层镶嵌在胎体工作表面上的钻头。它适用于钻进可钻性在4~6级的中硬及软硬互层岩层,可代替硬质合金钻头。其钻速均匀,回次进尺长、时间利用率高,具有自锐性,操作简便,对使用条件要求低。

**孕镶金刚石钻头** 将细粒天然金刚石或人造金刚石单晶按一定浓度和粒度比,均匀地包镶在钻头胎体材料内的钻头。它适用于钻进可钻性在7级以上的各种岩层。可根据岩石性质的不同,设计相应的胎体物理力学性能和钻头唇面结构,以取得高钻速、长寿命的效果。它是硬岩钻进的主要工具之一,要求配用高转速钻机和与其相适应的钻具。

**取心复合片钻头** 用片状金刚石复合片作切削具的取心钻头。它适用于钻进可钻性在7级以下的中硬或软硬互层岩层。它兼有硬质合金钻头的切削性和金刚石钻头的耐磨性,用于绳索取心钻进和长筒取心钻进,钻效高、寿命长。

**支柱式复合片钻头** 将带支柱的复合片,直接镶焊在专门预制的钻头体上制成的钻头。其出刃大,切削性能好,主要为不取心钻头,在可钻性为3~6级的软、中硬及软硬互层的中、弱研磨性岩层中钻进,机械钻速高,寿命长,纯钻时间长,可代替硬质合金钻头。

**金刚石胎块钻头** 先用细粒天然或人造金刚石制成的一定规格的孕镶金刚石扇形胎块,再焊接在钻头钢体上制成的钻头。它适用于钻进可钻性在7级以上,厚度较薄的硬岩层。其结构简单,加工方便,对使用条件要求低,常配合硬质合金钻头或复合片钻头使用。

**金刚石钻头唇面形状** 为提高机械钻速,延长钻头寿命,根据不同岩石特性,将钻头胎体唇面设计成多种形状(简称唇面形状,如下页表所示)。

**平底唇面** 适用于钻进可钻性在6级以上的弱、中研磨性岩层。

**圆弧和半圆弧形唇面** 适用于钻进可钻性在7级以上强研磨性岩层。它是典型的广谱钻头之一。

**阶梯形唇面** 分单阶梯、二阶梯、多阶梯多种,有分层破碎岩石的能力,适用于钻进可钻性在6~8级的弱研磨性岩层,其机械钻速较高。

**锯齿形唇面** 适用于钻进可钻性在4~8级的低研磨性岩层,有“吃软克硬”的功能,分大锯齿、小锯齿、高低锯齿等多种形式,只宜用于孕镶钻头。

**同心圆尖齿形唇面** 有径向同心齿、径向错位尖齿、轴向高低尖齿等多种形式,只宜用于孕镶钻头,适用于钻进研磨性弱的坚硬致密岩层和打滑岩层。在研

金刚石钻头胎体磨面新图形状表

| 代号 | 名 称       | 代号 | 名 称      |
|----|-----------|----|----------|
| A  | 平面磨面      | K  | 交错式磨面    |
| B  | 全面弧形磨面    | L  | 交错高低齿磨面  |
| C  | 半面弧形磨面    | M  | 高齿式磨面    |
| D  | 半平面磨面     | N  | 等齿高齿式磨面  |
| E  | 单齿形磨面     | O  | 双齿形磨面    |
| F  | 多齿形磨面     | P  | 高形浅齿角磨面  |
| G  | 同心圆齿形磨面   | Q  | 造斜磨面     |
| H  | 交错高低齿齿磨面  | R  | 球形磨面     |
| I  | 斜齿尖齿组合式磨面 | S  | 阶梯V形磨面   |
| J  | 锯齿形磨面     | T  | 同心圆环槽形磨面 |

磨性较强的岩层钻进寿命较短。

**同心圆环槽形磨面** 适用于钻进可钻性在5~9级的中、强研磨性岩层和打滑岩层，机械钻速较高。它既可用于孕镶钻头，又可用于小颗粒天然金刚石表镶钻头，钻进打滑岩层。

**二阶梯V形槽磨面** 在两个阶梯交界处有一“V”形槽，钻进中有分层碎岩作用，槽内岩粉能加速胎体磨损，促进金刚石出刃，克服打滑现象，多用于孕镶钻头。

**底喷式磨面** 钻头底面有通水眼，冲洗液可直接冲洗钻头磨面。它最适用于钻进柔性和岩粉粘性大的岩层，在软硬互层及中硬岩层中钻进的各种形式的钻头上均可采用。

#### 参考文献

李培兴等，《钻头技术图册》，煤炭工业出版社，1989。

(李 岳)

jinhaixing hanmeiyaxi

### 近海型含煤岩系 (paralic coal-bearing series)

又称海陆交替相煤系，由陆相、过渡相和浅海相沉积物组成。晚古生代形成的煤系，以近海型居多。自中生代以来，由于全球大陆面积的扩展以及植物界逐渐适应陆生环境，其重要性逐渐被内陆型含煤岩系所取代。近海型含煤岩系通常具如下特点：

**分布特征** 原始分布范围较广泛。其保存状况视聚煤期后地质变动强弱而异。

**沉积体系特征** 以海陆过渡带的各种沉积体系为主，包括三角洲沉积体系、障壁岛—海岸平原沉积体系、河口湾—潮滩沉积体系、碳酸盐缓坡—碎屑海岸沉积体系等。也可有碳酸盐台地沉积体系、河流沉积体系

乃至冲积扇沉积体系等。各种沉积体系的发育程度因聚煤古地理环境而异，除含植物和淡水动物化石外，还含有微咸水、半咸水乃至正常海的动物化石。

**岩相特征** 滨海地带，地形大都比较平缓，海平面即使发生幅度较小的升降，也可引起较大范围的海水进退。随着海岸线的迁移，整个沉积相带也都跟着发生相应的变化。同一沉积相可在较大范围内出现或消失。因而岩性和沉积相在横向上比较稳定，垂向上的变化则比较频繁，海侵、海退层序结构清晰，大区域内易于对比。

**岩性特征** 滨海地带堆积的沉积物，多经过较长距离的搬运，再加上波浪和岸流的反复作用，碎屑分选性、磨圆程度较好，粒度通常较细，碎屑成分比较单一。

**煤层特征** 聚煤作用常在较大范围内同时发生或消亡，煤层层位比较稳定，横向易于对比。煤层形态以层状、似层状为主，结构较简单。由于滨海地带泥炭沼泽在海平面上升时易被淹没，因而煤层常较薄。一般说来，在含煤岩系形成过程中，当海平面升降较频繁时，多形成薄煤层，反之，则可含有较厚的煤层。

**煤质特征** 泥炭沼泽发育过程中可不同程度受海水影响，又多因被海水淹没而结束，故煤的硫分通常较高，特别是其顶、底部。煤层中可找到钙质、白云石质以及菱铁矿、黄铁矿结核。

(陈钟惠)

jingcha

**精查** (detailed exploration) 又称详细勘探，为煤矿初步设计提供地质资料所进行的详细勘探工作。精查一般在详查工作和矿区建设开发总体设计划分井田的基础上进行。

**主要任务** ①查明第一水平的地质构造，可采煤层的层位、产状、厚度及其变化情况，确保选择井筒、水平运输巷、总回风巷的位置和划分首采区的需要。②控制可能影响井田划分的地质构造，保证井田境界不致发生重大变化。③探明各级煤炭储量，其中高级储量比例应满足矿井高级储量比例表的要求，保证井型能力的稳定。④查明可采煤层的煤质特征及煤的工艺性能，从煤质资料上保持煤的既定工业用途。⑤查明水文地质条件及其它开采技术条件，确保矿井建设和初期生产的正常进行。

**工作内容** 搜集和研究区内以往地质资料，特别是详查阶段的工作成果，在矿区开发总体设计划分井田的基础上，根据矿井建设的意图和上级下达的任务，编制精查勘探设计方案，经上级主管部门审批后，正式编制精查勘探设计。勘探设计经审查批准后，即可按设



计中规定要求组织野外施工。

**地质填图** ①在暴露区,进一步开展地面地质工作,包括实测地层柱状,建立标准地层剖面,布置坑探工程,进行1:5000比例尺的地质填图。重点层段实测剖面的间距一般为1000~2000m;主干槽的间距一般为125~250m。对勘探区(井田)内的小窑及老窑进行详细的调查研究。②在隐伏区,在详细了解地面地质情况的基础上,研究地质—地球物理条件和物探施工条件,选择适宜的物探方法,配合精查勘探设计编制物探勘查设计。物探工作应超前于钻探工程的施工。

**确定勘探类型** 划分勘探类型的目的是为了选择合理的勘探线距,指导勘探工程的合理部署,以便经济地查明地质情况,获得各级煤炭储量。

依据构造形态和断层、褶曲的发育情况,以及受火成岩影响的程度,勘探区井田的构造复杂程度划分为简单构造、中等构造、复杂构造和极复杂构造四类;依据煤层厚度、结构及其变化和可采情况,煤层稳定程度划分为稳定煤层、较稳定煤层、不稳定煤层和极不稳定煤层四型(见勘探类型)。

(1)分析构造的复杂程度,确定构造类别,包括①分析煤层的产状是水平的或倾斜的,倾角的大小及其变化;②分析勘探区(井田)内褶皱的大小及其紧密程度;③分析勘探区(井田)内构造断裂的大小、性质、数目及其分布情况;④在勘探区(井田)内,若有火成岩分布时,则要看其产状及它们对煤层的破坏程度。

(2)分析煤层的稳定程度,确定煤层型别,包括①煤层的稳定程度根据煤层厚度、结构及煤质方面的变化确定,最主要的是煤层厚度;②在分析煤层稳定程度时,要根据勘探区(井田)的范围大小,煤层的厚薄变化,以及有关最低可采厚度的规定加以确定;③勘探区(井田)各煤层的稳定程度不同,确定煤层型别以最主要可采煤层为准。以厚度或储量占优势的那一部分煤层作为确定煤层型别的依据;④在多煤层的勘探区(井田),还要考虑煤层对比的难易程度。

**勘探程度** 勘探区(井田)内,在相应勘探工程基本线距控制的基础上,对构造、煤层、煤质、水文地质以及其它开采技术条件的研究和查明程度和获得的高级储量比例。精查阶段的勘探程度通常以全井田的A+B级/A+B+C级储量比例,和第一水平的A+B级/A+B+C级储量比例,以及A级储量在第一水平内所占的比例来表示(右上表)。

**勘探深度** 勘探区的深部边界,即勘探区(井田)计算储量和评价的深度。它不等于每个钻孔的施工深度,但在一个勘探区(井田)内一定要有少量钻孔达到或超过这个深度计算。勘探深度,在有矿井或设计矿井

精查阶段各类矿井要求的高级储量比例表

| 地质开采条件                     | 简单 |    |    | 中等 |    |    | 复杂   |      |      |
|----------------------------|----|----|----|----|----|----|------|------|------|
| 井田                         | 大型 | 中型 | 小型 | 大型 | 中型 | 小型 | 大型   | 中型   | 小型   |
| 井田内 A+B 级储量占总储量的比例 (%)     | 40 | 35 | 30 | 35 | 30 | 25 | 25   | 20   | 15   |
| 第一水平内 A+B 级储量占本水平储量的比例 (%) | 70 | 60 | 50 | 60 | 50 | 40 | 不作要求 | 不作要求 | 不作要求 |
| 第一水平内 A 级储量占本水平储量的比例 (%)   | 40 | 30 | 20 | 30 | 20 | 10 | 不作要求 | 不作要求 | 不作要求 |

的井口位置(平硐除外)时,从井口标高往下计算;如无矿井或设计矿井的井口位置,则以主要煤层露头的平均标高为起算点。目前,一般地区的勘探深度为600~800m;在第四系厚度大、适宜建大型或特大型矿井的矿区,勘探深度为800~1000m;在老矿区外围或深部,勘探深度为1000~1200m。

**煤质工作** 精查阶段的煤质工作,在查明可采煤层煤质特征及其变化规律的同时,着重于分析研究煤的可选性和工艺性能,评价煤的各种可能用途;评价煤矸石、煤灰渣的综合利用方向。采样点的布置和对可选性、工艺性能的研究重点放在第一水平和首采区,同时必须考虑对井田的全面控制。

**其它有益矿产勘探工作** 在精查阶段,充分利用自然露头、小煤矿和探煤钻孔(必要时布置少量专门性工程),对含煤岩系中具有工业价值的其它有益矿产,有针对性地进行采样分析、试验,圈定合乎工业品位和可采厚度要求的范围。根据实际达到的工作程度,计算其储量,并对开发利用的可能性和途径作出评价。

**水文地质勘探工作** (见水文地质勘探)。

**其它开采技术条件勘探工作** 在精查阶段,其它开采技术条件勘探工作必须与地质、水文地质勘探工作密切结合进行,一方面充分利用探煤钻孔和水文地质钻孔取得有关资料,另一方面从中选择少量钻孔,专门研究其它开采技术条件,主要应取得煤层顶、底板、瓦斯、煤尘、煤自燃、地温等方面的有关资料。

(1)煤层顶、底板和主要井巷工程地质工作。①精查阶段必须结合矿井设计方案,在第一水平布置不少于两三条工程地质剖面。②在首采区和主要运输大巷

附近,也要布置工程地质钻孔。除对岩、煤心进行详细的工程地质观测外,对主要煤层顶、底板以及布置运输大巷的层位,要按岩性分别采取岩样,做物理力学性质试验。区内或邻近有生产矿井资料可供利用时,可酌情少做采样试验工作。

(2) 瓦斯、煤尘和煤自燃的研究。精查阶段着重在第一水平的主要可采煤层中采取瓦斯煤样,全井田沿倾向要布置不少于三条控制勘探线,详细了解各主要可采煤层的瓦斯成分、含量及其变化梯度,进一步划分瓦斯带。结合井田的构造、含煤岩系的岩性、煤层厚度、煤质、水文地质条件、地温及其它方面,分析影响瓦斯赋存的地质因素。对其中主要的含瓦斯煤层以及背斜轴部、主要构造带附近、厚煤包等适于瓦斯富集的地段,应适当加密采样点,并详细了解煤尘爆炸危险性和煤的自然趋势。

(3) 地温测量。精查阶段在以地温异常为背景的高温区,勘探钻孔一般均需做简易测温,并选择两三个钻孔做近似稳态测温,以查明区内不同深度以及各构造部位的地温变化和变化梯度,并圈定高温区的范围。测温钻孔一般选择在向、背斜轴部,大断裂两侧,含煤岩系的基底隆起部位,岩浆侵入体边缘和勘探区深部等不同部位,并结合面上的控制和编制地温剖面图、等温线平面图等需要,合理布置。

**精查程度要求** 精查阶段的工作程度,按拟建矿井井型分别确定。

对拟建大、中型矿井井田的要求

(1) 查明井田边界断层或褶曲。在掩盖区,井田边界构造线用工程控制应不少于三处;在第一水平或首采区范围内,井田边界构造线的平面位置应控制在250m以内。在暴露和半隐伏区,地表构造观测点的间距应符合有关规程的规定,深部要有钻孔控制。

(2) 查出第一水平内落差等于或大于30m的断层。查明首采区内落差等于和大于30m(岩层倾角平缓、构造简单的地区为20m)的断层,并对小构造(断层和褶曲)的发育程度作出评述。

(3) 查明煤层产状。对第一水平内煤层底板等高线变化急剧处,应加以检查控制。煤层倾角小于 $10^\circ$ 时,要控制首采区内较大的波状起伏。对布置水平运输巷位置的煤层底板等高线,应根据需要适当加密控制。

(4) 查明可采煤层的层数、层位、厚度、结构和主要可采煤层的可采范围。对首采区内确定先期开采的局部可采煤层的可采范围,应适当加密控制。

(5) 查明主要可采煤层的露头位置。在隐伏区,首采区范围内煤层隐伏露头在勘探线上的位置应控制在150m以内;勘探线之间应根据需要适当增加控制点。

在暴露区和半隐伏区,煤层露头观测点的位置和间距应符合有关规程的规定。

(6) 详细了解并适当控制第一水平范围内古河冲刷、古隆起、较大的陷落柱以及煤层燃烧对主要可采煤层的影响范围。

(7) 查明可采煤层的煤质特征及其变化情况,划出可采煤层的煤类界线和风化带、氧化带界线。进一步了解可采煤层的工艺性能,对煤的工业用途作出评价。了解煤矸石的质量及其变化情况。

(8) 初步查明第一水平范围内火成岩的岩性、产状、分布及其对煤层、煤质的影响程度。

(9) 水文地质工程程度(见水文地质勘探)。

(10) 详细了解各主要可采煤层的瓦斯成分、含量及分带情况,煤的自然发火趋势和煤尘爆炸危险性。详细了解主要可采煤层及其顶、底板的工程地质特征。根据矿井设计的要求,了解主要井巷位置岩层的工程地质条件。

(11) 初步查明恒温带的深度、温度、地温梯度及其变化。存在高温区时,应查明一、二级高温区的分布范围。

(12) 详细了解有工业价值的其它有益矿产的品位、厚度及分布范围,并作出评价。

(13) 计算A+B+C级煤炭储量,其中A+B级储量的比例应符合矿井高级储量比例表的规定。

对只宜建小型井井田的要求 应根据小型井的实际需要,参照大、中型矿井的要求执行。其中A+B级煤炭储量的比例应符合矿井高级储量比例表的要求。

(左光国 艾树勋)

## jingtong yongshuiliang

**井筒涌水量** (shaft inflow) 井筒开凿过程中,单位时间内由含水层流入井筒的水量,其通用单位为 $m^3/d$ 、 $m^3/h$ 。它是建井设计部门选择井筒施工方法,制订防治水措施,确定井筒排水设备的主要依据,对建井工期长短及经济效益起十分重要作用。

井筒涌水量实际上是一个变量,它不仅取决于天然水文地质条件,而且还与建井方案、井筒直径大小、井筒在含水层中的掘进深度等因素有关。

井筒涌水量,通常根据建井前期施工的井筒检查钻孔测试数据,并参考其它相邻钻孔的水文地质资料和邻近矿井的实际涌水量数值进行预测。井筒检查钻孔一般位于拟建井筒的附近,并应尽量符合水文地质条件相似这一重要要求。

建井部门关注的是,井筒揭露的各含水层段的涌水量、突然涌水的可能性与突水量或瞬时涌水量,以及





井筒总涌水量。常通过井筒检查钻孔收集拟建井筒剖面的涌水点位置、含水层段的数量和埋藏条件、静水位与水头压力、含水性（涌水量、渗透系数）、含水层段间及其与地表水的联系等资料，并对各主要含水层段分层进行测试，根据上述成果，预测建井部门要求的各项井筒涌水量值。

**井筒瞬时涌水量** 井筒揭露承压含水层或大的裂隙和溶洞时，短时间内（数分钟至数小时内）的涌水量。该水量具有瞬时弹性释放或水体溃决的特点，并随时间延长和水压减小而衰减，直至稳定。

**井筒总涌水量** 井筒揭露深度范围内各个含水层流入井筒的出水量，其值为各含水层的最大涌水量之和。

井筒涌水模式与钻孔涌水模式相似，其涌水量预测可采用钻孔涌水量计算方法，但应估计大井径的影响。

井筒涌水量预测的方法有：水文地质比拟法、涌水量—降深（ $Q-S$ ）曲线法、相关分析法、解析法等。常用的为涌水量—降深（ $Q-S$ ）曲线法和解析法。

**涌水量—降深（ $Q-S$ ）曲线法** 利用勘探阶段专门水文地质钻孔或建井前期井筒检查钻孔获得的数据，建立涌水量与降深关系的曲线方程，据此预测井筒涌水量。这种方法的实质，是以稳定井流为基础，根据试验阶段与未来建井阶段水文地质条件的相似性，通过外推  $Q-S$  曲线来预测涌水量。这一方法要求外推范围不能过大。

**解析法** 可分为稳定流解析法和非稳定流解析法。它是根据地下水动力学原理，用数学分析方法，对一定边界条件和初始条件下的地下水运动建立定解公式，用来预报井筒涌水量。

用上述方法计算出的井筒涌水量，往往和井筒施工实际观测的涌水量有较大误差，其主要原因是：自然界含水层的渗透性很不均匀，检查钻孔揭露出的岩石孔隙与裂隙尺寸，和井筒所揭露的常常大不相同；抽水试验降深较小；抽水试验与水文地质计算一般按完整井和整个含水层段考虑，而实际井筒涌水呈非完整井模式，以及水往往从少数几条裂隙涌出等。因此，预测井筒涌水量时，要参考邻近井筒实际数值，并据全井筒的水文地质条件，对计算值作必要的修正以及改善井筒检查钻孔测试方法与设备等。

（沈文）

jingzhizu

**镜质组** (vitrinite) 烟煤和无烟煤的一个显微组分组，主要由高等植物的木质素和纤维素经凝胶化

作用形成以腐植酸和沥青质为主要成分的凝胶化物质，再经煤化作用而成。1935年英国女煤岩学家 M. C. 斯托普丝 (M. C. Stopes) 首次提出镜质组这一术语，1957年被列入国际煤岩学委员会 (International Committee for Coal Petrology, 简称 ICCP) 所编的《国际煤岩学手册》，为国内外煤岩学界广泛应用。镜质组的前身是褐煤中的腐植组。

镜质组是煤中最主要的显微组分组。在中国大多数煤中，镜质组含量在 55%~80% 以上，光亮煤和半光亮煤均以镜质组为主组成。

**性质** 镜质组的物理、化学性质随煤级而异。低煤级烟煤中镜质组的透光色为橙至樱红色，反光色呈灰色，无突起，反光油浸镜下呈深灰色。镜质组反射率随煤级升高而增大的规律明显，可作为主要的煤级指标。在低、中煤级烟煤中，部分镜质组具弱荧光性。镜质组性脆，裂隙发育；密度在 1.27~1.50g/cm<sup>3</sup> 间，随煤级而异；镜质组中超微孔隙发育，由 2nm 到大于 50nm。在各显微组分组中，以镜质组的氧含量最高，氢含量和挥发分高于惰质组而低于壳质组；其结构碳骨架主要是由带有羟基（—OH）和羧基（—COOH）官能团的芳香核组成的芳香结构。在炼焦用煤中，镜质组具粘结性，在加氢液化时转化率较高，均属于活性组分。

**显微组分** 镜质组可分为结构镜质体、无结构镜质体和碎屑镜质体等三种显微组分。

**结构镜质体 (telinite)** 显示植物细胞结构的，由木质部、周皮等细胞壁所形成的镜质组组分。其细胞腔大多被胶质镜质体、树脂体所充填，有时被粘上矿物、微粒体所充填（参见彩图插页第 2 页 1、2），有时细胞腔压扁。在镜质组各种组分中，以结构镜质体的反射率最高，而其膨胀性、粘结性和挥发分稍低。

有时，结构镜质体可显示不同门类成煤植物的解剖结构称为显微组种，古生代煤中就有鳞木结构镜质体、封印木结构镜质体、科达木结构镜质体等。结构镜质体的成煤植物门类的鉴别，结合煤层中植物化石和煤核的研究，对于分析成煤植物群落和生态环境很有意义。

**无结构镜质体 (collinite)** 由植物组织、器官经过强烈的凝胶化作用，以致在普通显微镜下看不出细胞结构的镜质组组分。它可进一步分为均质镜质体、基质镜质体、团块镜质体和胶质镜质体等四种亚组分。

**均质镜质体 (telocollinite)** 常呈条带状或透镜状出现，有垂直于层面的显微裂隙，并有纯净均一、轮廓清晰、经强凝胶化的植物组织（参见彩图插页第 2 页 3）；它是测定镜质组反射率的标准组分。均质镜质体未

显示细胞结构,是由于充填细胞腔的腐植凝胶与凝胶化细胞壁的折射率和颜色很相似,以致在普通显微镜下难以区分。当用溶于硫酸的高锰酸钾溶液或铬酸浸蚀后,或用二碘甲烷作浸液并以专用物镜进行观察,仍能显示原有的结构,称为隐结构显微组分(cryptomaceral)。

被角质体镶边的结构镜质体和均质镜质体,来源于植物的叶片和嫩枝,统称为叶镜质体(phyllovit-rinite)。

基质镜质体(desmocollinite) 胶结各种显微组分和同生矿物的镜质组组分(参见彩图插页第2页4,第12页2)。多见于微亮煤、微暗亮煤和微亮暗煤中,呈条带状、分岔条带状,无明显边界。其反射率稍低于均质镜质体。它是镜质组中最常见的显微组分,在煤砖光片中常作为测定反射率的标准组分。

团块镜质体(corpocollinite) 均一的团块状镜质组组分。呈圆形、卵形和长圆形(参见彩图插页第10页1)。充填于细胞腔的团块镜质体,其大小与植物细胞腔的大小一致;单独出现的团块镜质体,其大小有时可达150~200 $\mu\text{m}$ 以上。团块镜质体可具微弱的暗褐色荧光。

团块镜质体由褐煤中团块腐植体演化而成。它可能是植物细胞壁的鞣质分泌物,也可能是泥炭阶段渗入胞腔的腐植质。

胶质镜质体(gelocollinite) 由泥炭阶段沉淀的无杂质的腐植凝胶演化而成的无结构镜质体。质纯,常充填结构镜质体中的胞腔,也可胶结碎屑镜质体或充填孢子体和菌核的空腔。在煤中少见。

碎屑镜质体(vitrodetrinite) 粒径小于10 $\mu\text{m}$ 的镜质组碎屑颗粒。它大多来源于早期被分解的植物碎屑和泥炭碎片。见于微三合煤和碳质泥岩。

近年的荧光研究和化学研究表明,在镜质组中还可区分出一种组成、结构和性质特殊的富氢镜质体。

富氢镜质体(perhydrous vitrinite)的主要特征是,相对富氢、富沥青,无结构,反射率较低,粘结性强,常显示橙棕色荧光,荧光强度为正变化。富氢镜质体的芳香结构上联结有较多的富氢短脂肪链边缘基团的脂类化合物。它是在碱性介质和强还原环境下,由高等植物木质素、纤维素经受强烈生物降解和地球化学沥青化作用转变而成;有机地球化学和透射电镜研究表明,富氢镜质体中有菌藻类低等生物降解产物参与。含有丰富富氢镜质体的低、中煤级烟煤,不仅有较强的粘结性,而且具有较高的产烃能力和排烃的可能性。

(任德貽)

jingzhizu fanshelu

**镜质组反射率** (vitrinite reflectance) 镜质组抛光面的反射光强度对垂直入射光(波长546nm)强度的百分比。

**沿革** 1932年E. 霍夫曼(E. Hoffmann)和A. 琴克纳(A. Jenkner)首先利用贝瑞克(M. Berek)显微镜线隙光度计研究镜质组反射率,发现它随煤级增高而增大。此后,曾采用过对比显微镜法、标准变质煤样对比法、光电池法。20世纪60年代以来,采用光电倍增管法,大大提高了测定精确度。近20年来,出现各种型号的显微光度计,相继增添了自动扫描系统,最小测区直径小于1 $\mu\text{m}$ 。同时发展的还有电子图像分析仪。这两者均成功地用于快速自动测定镜质组反射率,输出反射率分布图或曲线。

**种类** 按物镜与试样间的介质不同,镜质组反射率有空气中反率 $R_a$ 和油浸中反率 $R_o$ 之分。后者灵敏度高,已为国际上广泛采用。从褐煤到无烟煤,镜质组油浸中最大反射率 $R_{o,max}$ 由0.2%增至10.0%左右;空气中反射率由5.4%增至18.0%以上。煤中各种显微组分的反射率随煤级增高而增大,是其有机分子内部芳香稠核的缩聚程度增加、碳原子密度加大的反映。各显微组分的反射率不同(图1)。在褐煤和烟煤中,壳质组反射率最低,惰质组最高,镜质组居中。各组显微组分反射率在煤化过程中变化速度不同,其中镜质组反射率变化幅度大,规律性强,而且镜质组又是煤中

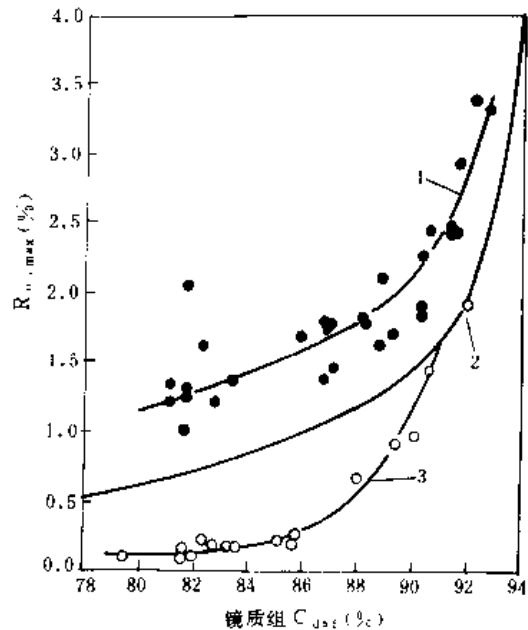


图1 各种显微组分的反射率  
1—粗粒体; 2—镜质组; 3—壳质组  
(据 VanKrevelen, 1981)

主要成分,在显微镜下出露面积大且均一,易于测定反射率。镜质组反射率与挥发分  $V_{daf}$ 、碳含量  $C_{daf}$  等指标相比,不受煤岩成分含量变化的干扰,因而公认为它是较理想的煤化程度指标。

中国煤的镜质组反射率与挥发分、碳含量的关系见图2。图中显示出其相关性强,但非直线相关。在低煤化阶段由于镜质组的光性差异使测值分散;烟煤阶段反射率增长较快,无烟煤阶段增长更快。这些指标间

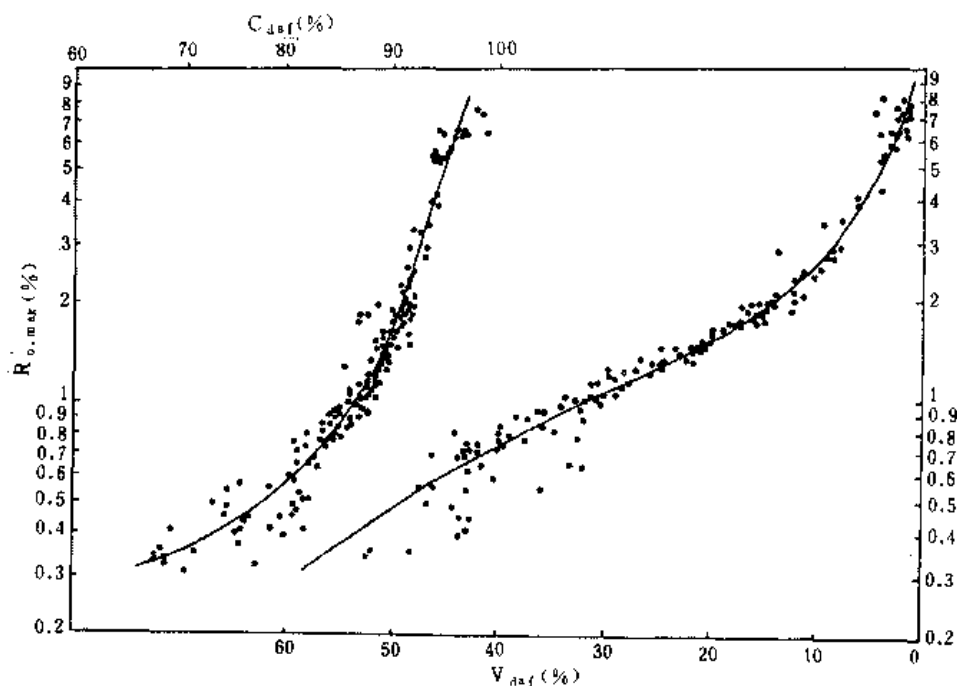


图2 镜质组平均最大反射率  $R_{o,max}$  与挥发分  $V_{daf}$ 、碳含量  $C_{daf}$  的关系  
(据中国煤炭分类资料, 1985)

可建立分段的线性相关关系。

**测定方法** 当前通用的测试设备为显微镜光度计,主要由偏光反光显微镜、光电倍增管和数据处理系统等部件构成。在光路中的测量光阑控制下,测定面积直径可小于  $1\mu m$ 。必备附件为一系列与试样镜质组反射率相近的反射率标准物质和零标准物,如蓝宝石 ( $R_s=0.59\%$ )、钇铝石榴石 ( $R_s=0.90\%$ )、钇镓石榴石 ( $R_s=1.72\%$ )、金刚石 ( $R_s=5.28\%$ )、碳化硅 ( $R_s=7.50\%$ ) 以及浸油 (23℃, 波长=546nm 时, 折射率  $n=1.518\pm0.0004$ )。

试样有块煤光片和粉煤光片之分。测定前,首先用反射率标准物质校对仪器的线性和稳定性。测定时,从试样的一端开始,用物台推动尺定距离移动试样,使测点均匀分布全片,逐点测取均质镜质体和基质镜质体的反射率读数。测点数随煤级、最大或随机反射率以及单煤或混煤之不同而异。单煤 25~300 点(褐煤 25 点, 烟煤 40~100 点, 无烟煤 50~300 点); 混煤 >250~500 点。平行测定允许误差: 褐煤 0.03%、烟煤 0.02%~0.06%、无烟煤 0.09%~0.14%。用反射率分布图

和平均值表示测定结果。研究反射率各向异性解决地质构造应力场问题时,用定向光片,采用专门的测定方法;测定小颗粒分散有机质最大反射率时,可转动入射偏振器以测取读数,并通过计算求得。

**反射率的各向异性** 在入射偏光条件下,反射率随方向不同而改变的特性。从褐煤到无烟煤以至石墨,镜质组由均质体向非均质体过渡。光学各向异性从烟煤开始逐渐增强。一般,烟煤镜质组与一轴晶负光性物质相似,这是其中芳香稠核沿垂直上覆地层压力方向定向排列的结果。反射率指示面为一光轴的扁旋转椭球体,光轴(c轴)垂直于层理。因此,可测得最大反射率  $R_{max}$ 、最小反射率  $R_{min}$  和双反射率  $\Delta R$ 。

**最大反射率** 相当于一轴晶负光性时,在垂直层理切面上,入射偏振光方向与层理平行时的反射率值;在斜交层理的任意切面上,转动物台  $360^\circ$  出现的两次相同最大值;在平行层理面的切面上,任意方向的反射率值。

**最小反射率** 在垂直层理的切面上,与最大反射率的垂直方向上的反射率值。在任意切面上,与最大反

射率垂直方向的反射率值总是介于最大反射率与最小反射率之间,称为视最小反射率  $R'_{\min}$ 。

**双反射率** 最大反射率与最小反射率的差值  $\Delta R = R_{\max} - R_{\min}$ 。它是反射率各向异性的量值指标,又称绝对各向异性。双反射率与最大反射率的比值  $\Delta R / R_{\max} = (R_{\max} - R_{\min}) / R_{\max}$  称为相对各向异性。最大反射率与最小反射率(或最小反射率与最大反射率)之比值  $R_{\min} / R_{\max}$  ( $R_{\max} / R_{\min}$ ) 称各向异性比。这些,都可用来表示各向异性程度。在  $R_{\max} < 6.0\%$  的无烟煤中,  $R_{\max}$  与  $R_{\min}$  保持正相关,而在  $R_{\max} > 6.0\%$  以后,  $R_{\max}$  与  $R_{\min}$  则显示负相关,且双反射开始激烈增加。这一转折,与部分石墨化和二轴晶光性有关。

**随机反射率  $R_{o,\text{ran}}$**  在非偏光下(即卸去入射偏振器,实际为部分偏振光)测定的反射率。在粉煤光片上测得的大量随机反射率的统计平均值,为平均随机反射率  $R_{o,\text{ran}}$ 。其数值与入射偏振光下,大量任意方向反射率的平均值相同。在一轴晶负光性条件下,  $R_{o,\text{ran}}$  与  $R_{\max}$ 、 $R_{\min}$ 、 $R'_{\min}$  有如下的关系式:  $R_{o,\text{ran}} = (2R_{\max} + R_{\min}) / 3 = (R_{\max} + R'_{\min}) / 2$ 。

在相当于二轴晶光性时,镜质组反射率光性指示面具  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三个主轴,对应三个主反射率  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$ ,且  $R_a > R_b > R_c$ ,有三个对称平面  $a-b$ 、 $b-c$ 、 $a-c$  和两个  $R = R_b$  的圆平面。20 世纪 70 年代以来,发现许多无烟煤和部分高煤级烟煤具有这种光性。因此,在任意方向切面上和垂直层理的切面上,不能测得  $R_a$ 、 $R_b$ 、 $R_c$  的真值,在入射偏光条件下,只能测得介于三个主反射率之间的视最大反射率  $R'_{\max}$  和视最小反射率  $R'_{\min}$ ,即  $R_a \geq R'_{\max} \geq R_b \geq R'_{\min} \geq R_c$ 。所以,粉煤光片上测定的最大的反射率平均值,不是真正的最大反射率,而是平均随机最大反射率  $R_{m,r}$ 。在此条件下,大量任意方向测值的统计平均值为平均随机反射率  $R_{o,r}$ ,只有在包含  $a$  轴的切面上才能测得真正最大反射率,而包含  $a$ 、 $c$  轴的切面则可测得真正最大和真正最小反射率。二轴晶光性的出现,是在压力控制下芳香分子不对称发育与定向生长的结果,光轴沿最大压力方向重新排列,其方位与垂直应力或垂直应力和侧向构造应力的合力一致。在变形强烈的地层中,二轴晶负光性甚至可变为二轴晶正光性指示面(扁长椭球体),但最小反射率总是与最大压力方位一致。无烟煤虽受二轴晶光性的影响,但镜质组反射率仍不失为有效的煤化程度参数。

**应用** 镜质组反射率在煤质评价及煤炭加工利用方面和地质领域都得到了广泛的应用。

在煤质评价及煤炭加工利用中的应用 ①煤炭分类中用作煤级参数。国际标准化组织(ISO)拟订中的国际煤炭编码分类,煤炭成因分类以及苏联的煤炭分

类标准(GOST25543-82)均予采用。②根据镜质组反射率频率分布图谱和标准差,判别商品煤的混合程度和性质。③炼焦配煤工作中,将镜质组反射率和显微组分(活性或惰性的)作为参数,计算出组成平衡指数(CBI)和强度指数(SI);或者根据上述煤岩参数与焦炭强度  $M_{40}$ 、 $M_{10}$ ,进行多元回归分析,确定合理的配煤比,并预测焦炭强度。有的学者则根据煤的平均反射率和煤灰软化熔融性—最大流动度,圈定最佳配煤区间,指导炼焦配煤。煤岩学指标引入炼焦配煤已成为科学配煤的新趋势。

在地质学领域中的应用 主要包括两个方面。

(1)通过测定煤和沉积岩中分散有机质的镜质组反射率,可用以确定煤化程度。

(2)镜质组反射率及其各向异性,是对温度和压力极其敏感的参数,广泛应用于地质学研究的各个领域。①古构造及其演化的研究。根据  $R_o$  表示的等变质面与地层(或煤层)的平行或相交等关系,推断造山作用与煤化作用的先后次序;从  $R_o$  的空间分布位置,确定某些褶皱和断裂发生的顺序;揭示地层倒转及推覆体的存在。根据深度—反射率曲线的错位,可推断断层位置,亦可结合其它资料推断出有地层抬升遭受侵蚀的间断面;即“古地热不整合”,并可进一步根据  $R_o$  值判断剥蚀量;还可以根据反射率梯度的变异,推测隐伏侵入岩体的部位和大小。根据镜质组反射率的光性特征、光轴方位及各向异性的变化,分析构造变形,恢复古构造应力场,为分析和恢复成煤盆地构造史开辟了新途径。②古地热及古地热史的研究。古地热控制了油(气)形成、运移和分布,是正确评定生油(气)层位、生油(气)区及可能储量的依据。不同地区的石油生成深度随各地的地温梯度和埋藏时间而异。H. H. 阿莫索夫(H. H. Аммосов, 1968~1971)曾根据镜质组反射率制作了古地温标尺,后来又由  $R_o$  推导出中亚细亚侏罗系顶部的古等温线图。其他学者推算古地温的方法也都以  $R_o$  为基础。恢复地热史的时间—温度指数法(TTI),可恢复各地质时期不同温度和时间所给予有机物的热变影响,近似再造有机物的全部受热史。因而,在盆地沉积—构造分析,油气形成与演化的定量分析等多方面,镜质组反射率都是不可缺少的参数。③烃源岩热演化成烃模式的研究。法国 B. P. 蒂索(B. P. Tissot, 1978)等建立的以镜质组反射率为基础的生烃演化模式,提出有机质各热演化阶段公认的反照率值为,  $R_o < 0.5\% \sim 0.7\%$  为成岩阶段,源岩不成熟;  $0.5\% \sim 0.7\% < R_o < 1.3\%$  为深成阶段,主要为生油带,也称“石油窗”;  $1.3\% < R_o < 2.0\%$  为深成阶段,源岩过成熟,形成湿气和凝析油带;  $R_o > 2.0\%$  为变生阶段,唯



一的烃类是甲烷(干气带)。不过不同有机质类型成烃转化速度不同,成熟时R<sub>0</sub>有差别。根据上述成烃演化模式,可编制烃源层的煤化作用图,以指导找油气。④煤化作用的研究。镜质组反射率是研究煤变质带分布规律、研究煤变质作用因素、分析其转变机制、发现新的变质作用类型以及预测煤质等不可缺少的参数。

值得注意的是,许多研究者发现,煤和烃源岩中富氢镜质组的反射率,较共生的腐植煤中的正常镜质组有明显偏低现象,称为反射率“抑制作用”。有鉴于此,在使用反射率这一参数时,需特别慎重。

### 参考书目

中华人民共和国国家标准《煤的镜质组反射率测定方法》(GB6948—86)。

杨起等,《煤地质学进展》,科学出版社,1987。

赵师庆,《实用煤岩学》,地质出版社,1991。

(张秀仪)

jumeidai

**聚煤带** (coal-accumulation belt) 一定地质历史时期中地球表面聚煤最丰富的地带。它反映了特定地质历史时期中煤炭资源的分布规律。该术语最早由苏联地质学家 И. И. 斯捷潘诺夫 (И. И. Степанов) 于1937年提出。他发现在全球范围内各聚煤期中主要煤田多呈带状分布以及在若干地区煤炭资源特别丰富的现象,提出了“聚煤带”和“聚煤中心”两个术语。

聚煤带的分布主要受聚煤条件的控制。不同聚煤期有不同的聚煤带。有人根据聚煤带均位于各聚煤期地球上温暖潮湿、植物茂盛地带的特点,认为聚煤带的形成主要受古气候带的控制。由于煤的聚积还受聚煤环境和地壳运动等因素的制约,因而聚煤带内煤的聚积也是不均匀的,只有在各种聚煤条件都协调配合的地区,才能大量聚积煤炭,形成聚煤中心。聚煤期后由于板块的迁移,会部分改变聚煤带的分布,致使各聚煤期煤田呈目前分布状况。

**石炭纪聚煤带** 石炭纪煤炭资源集中在北半球北纬30°~60°之间,基本上呈纬向分布。该聚煤带中著名的大煤田有中国华北聚煤区的晋北、沁水、大同、京西、开滦、太行山东麓等煤田,俄罗斯的基泽尔、莫斯科近郊等煤田,哈萨克斯坦的卡拉干达、埃基巴斯图兹煤田,乌克兰的顿涅茨煤田,波兰的卢布林、上西里西亚煤田,德国的鲁尔煤田,法国的萨尔-洛林煤田,英国的南威尔士、约克郡-诺丁汉郡、兰开夏郡煤田,美国的阿巴拉契亚、伊利诺伊、密执安、西部等煤田。上述煤田均为近海型煤田,面积大,含煤岩系稳定、旋回结

构明显、含煤性好、储量丰富、可多达数百至数千亿吨。因此,该聚煤带为全球最重要的聚煤带。在石炭纪,由于南半球大陆冰川广布,影响植物的繁殖和煤炭的聚积。

**二叠纪聚煤带** 二叠纪煤炭资源集中在东半球,并呈经向分布,以近海型煤田为主。中国华北聚煤区的二叠纪与石炭纪是一连续的聚煤过程。该聚煤带中著名的大煤田有中国华北聚煤区的兖州、豫西、淮北、淮南等煤田,华南聚煤区的黔西、湘赣等煤田,俄罗斯的通古斯、库兹涅茨克、泰梅尔、伯绍拉等煤田,印度的比哈尔邦煤田,澳大利亚的悉尼、鲍恩等煤田和南非煤田,莫桑比克煤田,赞比亚煤田,津巴布韦煤田以及南极洲煤田等。其中,南半球各煤田含煤岩系的特征有许多相似之处,再结合其它证据,有人认为可能当时曾存在过一个统一的冈瓦纳古陆聚煤区,后因古陆解体,部分煤田随板块漂移,才分布在目前不同的大陆上。

**侏罗纪聚煤带** 早中侏罗世煤炭资源主要集中分布在亚洲北部的中、高纬度地带,以大小不等、含煤性各异的内陆型煤田为主,并呈纬向分布。该聚煤带中著名的大煤田有中国的准噶尔、吐鲁番、鄂尔多斯、大同-宁武等煤田,俄罗斯的南雅库茨克、伊尔库茨克、坎斯克-阿钦斯克等煤田以及哈萨克斯坦煤田等。北美地区侏罗纪处于干燥气候带范围,基本未发生聚煤作用。

**白垩纪聚煤带** 分两个带,①晚侏罗早白垩世煤炭资源主要集中在亚洲东北部中、高纬度地区,以内陆型煤田为主,该聚煤带中著名的煤田有中国的阜新、铁法、霍林河、伊敏河、鹤岗、鸡西、双鸭山等煤田,俄罗斯远东地区的连那、叶尼塞河下游、布列亚、苏吕等煤田。其它地区因当时气候干旱,聚煤作用微弱;②晚白垩世煤炭资源主要集中在北美洲西部,该聚煤带中著名大煤田有加拿大的艾伯塔煤田,美国落基山前缘的格林河、尤因塔、犹他、圣胡安等一系列煤田。上述煤田大体呈南北向分布,延绵长达2000余公里,不少煤田适宜露天开采,煤炭资源量以万亿吨(10<sup>12</sup>t)计。

**第三纪聚煤带** 第三纪煤田绝大部分为中小型内陆型煤田,且其煤炭资源主要为褐煤。某些煤田有巨厚的煤层赋存。第三纪煤田在全球分布广泛,但大部集中于环太平洋、欧洲两个聚煤带中。

**环太平洋聚煤带** 该聚煤带中的著名煤田有中国东部沿海的抚顺、黄县、茂名、百色、昭通、小龙潭及台湾、海南岛等煤田和菲律宾、泰国、马来西亚、印尼、日本、俄罗斯远东地区的煤田,北美洲加拿大和美国西



部太平洋地带的煤田,南美洲哥伦比亚和巴西的亚马逊河上游煤田以及智利等国的一系列煤田。

**欧洲聚煤带** 该聚煤带中的主要煤田有乌克兰的第聂伯尔煤田,罗马尼亚、保加利亚、地中海沿岸希腊和意大利的煤田,以及德国的莱茵煤田等。

**聚煤中心** 聚煤带内煤炭资源最富集的地区。每个聚煤带可有若干个聚煤中心,①石炭纪聚煤带内有中国华北聚煤中心、西欧聚煤中心、北美聚煤中心;②二叠纪聚煤带内有中国华北聚煤中心、华南聚煤中心、澳洲东部聚煤中心、非洲东南部聚煤中心;③侏罗纪聚煤带内有中国西北聚煤中心、鄂尔多斯聚煤中心、俄国西伯利亚聚煤中心;④白垩纪聚煤带内有北美洲西部聚煤中心;⑤第三纪聚煤带内有德国聚煤中心等。

为探讨煤炭资源在地壳中有规律分布的原因,揭示各聚煤条件的内在联系,指导对煤炭资源的寻找,许多学者提出了各种假说,但迄今尚有许多问题有待深入研究。

#### 参考书目

杨起等,《煤地质学进展》,科学出版社,1987。

王国清、朱德祥,《世界煤炭地理》,商务印书馆,1987。

IEA Coal Research. Concise Guide to World Coalfields, 1983.

(叶敦和 邵震杰)

jumei gudili

**聚煤古地理** (coal-accumulating palaeogeography) 又称含煤岩系古地理、聚煤环境,整个含煤岩系或其主要组段形成过程起主要支配作用的地貌景观和沉积环境,主要包括聚煤盆地距侵蚀区和海岸线的远近,侵蚀区的地形特点,煤盆地本身的地形特点,煤盆地中的水动力条件、介质化学特性及植物群落等四个方面。

根据含煤岩系形成时的古地理环境,可将其划归为不同的古地理类型。含煤岩系的古地理类型最早是由德国的 C. F. 珥曼 (C. F. Nauman) 于 1854 年提出的,当时只划分为近海和内陆两种类型,在中国则称为海陆交替相和陆相煤系。这个分类曾起过很大的作用并一直沿用至今,但随着生产和煤田地质学科的发展,日益感到这个分类过于笼统,更难以细致地从成因上阐明含煤岩系的许多特点。因此,需更详细地划分其类型并总结每种类型的主要特点。

1956 年,黄汲清在论述中国含煤地层地质时代及其分布规律时,曾划分出了陆相或基本陆相沉积区,海陆交互相宽广盆地沉积区,内陆山间盆地、山前盆地沉积区及浅海沉积区等。

Г. Ф. 克拉舍宁尼科夫 (Г. Ф. Крашенинников) (1957) 分析了苏联若干地区含煤岩系的沉积特点,划分出了广阔滨海冲积平原、广阔大陆冲积平原、滨海山间或山前盆地、滨海山前平原、大陆山前平原、大陆山间或山前盆地等六种类型的聚煤古地理环境。

北京地质学院煤田教研室 (1962) 在以上两个分类的基础上,根据当时掌握的资料,将含煤岩系分为海陆交互相和陆相,并按聚煤古地理环境划分为 8 种聚煤古地理类型并详述了每种类型及其亚型的主要特征。

#### 一、海陆交替相含煤岩系

##### (一) 浅海型

##### (二) 滨海平原型,包括滨海过渡带亚型和滨海冲积平原亚型

##### (三) 滨海山前或山间盆地型

##### (四) 狭长海湾型

#### 二、陆相含煤岩系

##### (五) 广阔内陆冲积平原型

##### (六) 内陆盆地型

##### (七) 内陆山间盆地型,包括山间谷地亚型和山间湖盆亚型

##### (八) 内陆山前盆地型

同一时期和稍后,国内又有某些教学、科研部门提出了另外一些分类,但彼此间似无原则性的差别。近年来,由于人们的注意力已转向沉积体系、沉积体系组合以及盆地充填、演化模式的研究,未更多探讨统一适用的古地理类型划分和命名问题。

每一种古地理类型或亚型,都是由一、两种或更多的沉积体系组合而成的。以发育冲积扇的山间盆地为例,当冲积扇体系与贯流河体系组合时,构成山间谷地型含煤岩系;当冲积扇体系与湖泊体系组合时,则构成山间湖盆型含煤岩系。只要真正弄清了含煤岩系中的各种沉积体系,就不难恢复含煤岩系形成时的古地理环境,并恰当地确定其古地理类型。

不同的聚煤古地理环境在空间和时间上可相互过渡。同一含煤岩系,其形成环境不但随时间发生变化,而且在不同地段也有差别,因此有可能分属于不同的古地理类型或亚型。为此,必须十分重视研究聚煤古地理环境的时空演化。

#### 参考书目

Г. Ф. Крашенинников, 1957, Условия накопления угленосных формаций СССР, Изд. МГУ.

北京地质学院煤田教研室,《煤田地质学》,中国工业出版社,1962。

(陈钟惠)

jumeiqi

**聚煤期** (coal-forming period) 又称成煤期, 在地质历史中, 有煤炭资源形成的地质时期。不同的地质历史阶段, 聚煤条件不同, 聚煤作用有强有弱, 同一地质历史时期, 不同地区的聚煤条件也各不相同, 有的地区能成煤, 有的地区则不能。因此, 不同的地区有不同的聚煤期。

1937年, 苏联地质学家 И. И. СТЕПАНОВ 研究了单位地史时间兆年 (Ma) 的聚煤量变化, 提出煤的聚集在地史演化中是不均衡的, 聚煤作用的发展在时间上是强弱交替的, 并列出了世界上的六个 (三大、三小) 聚煤期。其中, 三大聚煤期为晚石炭世和二叠纪, 侏罗纪, 晚白垩世到第三纪; 三小聚煤期为早石炭世, 三叠纪, 早白垩世。

据近代的研究, 自地球上出现成煤植物以来, 世界上的主要聚煤期共有六个, 即石炭纪聚煤期、二叠纪聚煤期、晚三叠世到中侏罗世聚煤期、晚侏罗世聚煤期、晚白垩世到始新世聚煤期、渐新世到现代聚煤期。其中, 石炭纪聚煤期主要发生在欧洲、北美洲、亚洲; 二叠纪聚煤期主要发生在亚洲和南半球; 三叠纪聚煤期主要发生于非洲; 侏罗纪聚煤期主要发生在亚洲; 白垩纪聚煤期主要发生在北美洲; 第三纪聚煤期主要发生在环太平洋带和地中海沿岸。

中国是个多聚煤期的国家, 自元古代就出现了以藻类构成的腐泥无烟煤, 但形成真正有工业价值的腐植煤, 则始于晚古生代的泥盆纪以后, 最重要的聚煤期共有七个, 即晚古生代的早石炭世聚煤期, 石炭二叠纪聚煤期, 晚二叠世聚煤期; 中生代的晚三叠世聚煤期, 早中侏罗世聚煤期, 侏罗白垩纪聚煤期以及新生代的第三纪聚煤期。

各聚煤期的聚煤量有差别, 中国以石炭二叠纪、二叠纪、早中侏罗世和侏罗白垩纪四个聚煤期聚煤作用最强。早石炭世聚煤期主要发生在华南聚煤区中、西部; 石炭二叠纪聚煤期主要发生在华北聚煤区和西北聚煤区东部; 晚二叠世聚煤期主要发生在华南聚煤区, 几乎遍布中国的华南各省区; 晚三叠世聚煤期主要发生在华南聚煤区的湘、赣、粤北、闽北以及西北、四川等地; 早中侏罗世聚煤期主要发生在西北聚煤区及华北、东北南部; 侏罗白垩纪聚煤期主要发生在东北内蒙古聚煤区; 第三纪聚煤期主要发生在近海地区 (滇、桂、台湾及东北、华北等地)。

#### 参考书目

韩德馨、杨起等, 《中国煤田地质学》下册, 煤炭工业出版社, 1980。

(邵震杰)

jumeiqu

**聚煤区** (coal accumulating area) 地质历史中有聚煤作用, 且其中煤田、含煤区的形成条件具有一定的共性, 其边界与大地构造基本吻合的广大地区。中国划分为东北、西北、华北、滇藏、华南等五个聚煤区 (图1); 有的划分为东北、西北、华北、华南、滇藏、台湾等六个聚煤区。

**华北聚煤区** 又称华北石炭二叠纪聚煤区, 范围大致在北纬40°阴山以南, 秦岭—大别山以北, 西起东经105°贺兰山—六盘山一线, 东临黄海、渤海的广大地区。包括北京市、天津市及山西、河北、山东、河南等省以及辽宁、内蒙古、吉林等省区的南部, 江苏、安徽、陕西等省的北部和甘肃省、宁夏自治区的东部。全区广布由石炭二叠纪煤系形成的一系列重要煤田, 其次为早中侏罗世煤系形成的鄂尔多斯、大同、京西等煤田。此外, 在陕甘宁还有少量晚三叠世的烟煤, 山东北部等地还赋存第三纪褐煤 (图2)。该聚煤区煤炭资源十分丰富, 其资源量约占中国煤炭资源量的53%, 分布有中国最重要的煤炭基地。

**华北石炭二叠纪煤田** 华北石炭二叠纪近海型含煤岩系一般厚数百米, 沉积在奥陶纪海相碳酸盐岩侵蚀面上, 除贺兰山、桌子山一带呈不整合接触外, 均呈假整合接触。含煤岩系自下往上分为本溪组、太原组、山西组和石盒子组。上覆地层为二叠纪红色碎屑岩系。石炭二叠纪聚煤期时, 华北聚煤区为一巨型波状拗陷盆地, 拗陷沉积缓慢, 沉陷幅度不大, 盆地内部构造分异不明显。煤系广布, 沉积稳定, 岩性、岩相、含煤性变化小且有规律, 旋回结构明显。主要含煤地层, 太原组厚度一般不超过150m; 山西组厚度60~100m。早二叠世晚期, 华北聚煤区北部出现干旱气候且范围往南逐渐扩大, 造成含煤层位逐渐上移规律。华北石炭二叠纪煤田煤炭资源丰富, 约占全区资源量80%; 根据煤系特征, 可分为北、中、南三个沉积带 (图3)。

**北带** 阴山古陆以南, 大致北纬37°30'~40°地带。包括辽西、兴隆、北京、大同、包头、桌子山等煤田。石炭二叠纪聚煤期呈滨海山前平原环境。①本溪组, 以滨海、浅海相砂泥岩为主, 夹石灰岩和薄煤层数层, 底部普遍有铁、铝沉积, 一般厚数十米。②太原组, 以陆相碎屑岩系和过渡相粉砂岩为主, 往南颗粒变细, 出现石灰岩, 含煤2~4层, 上部往往发育约厚20m左右的以半暗型煤和暗淡型煤为主的厚煤层。③山西组, 为陆相碎屑岩系, 含数层薄煤层。④石盒子组, 为干旱气候下沉积的灰绿、黄绿色夹紫红色的碎屑岩系, 构成煤系的上覆地层。煤级除京西等地为无烟煤外, 主要为低、中变质烟煤。

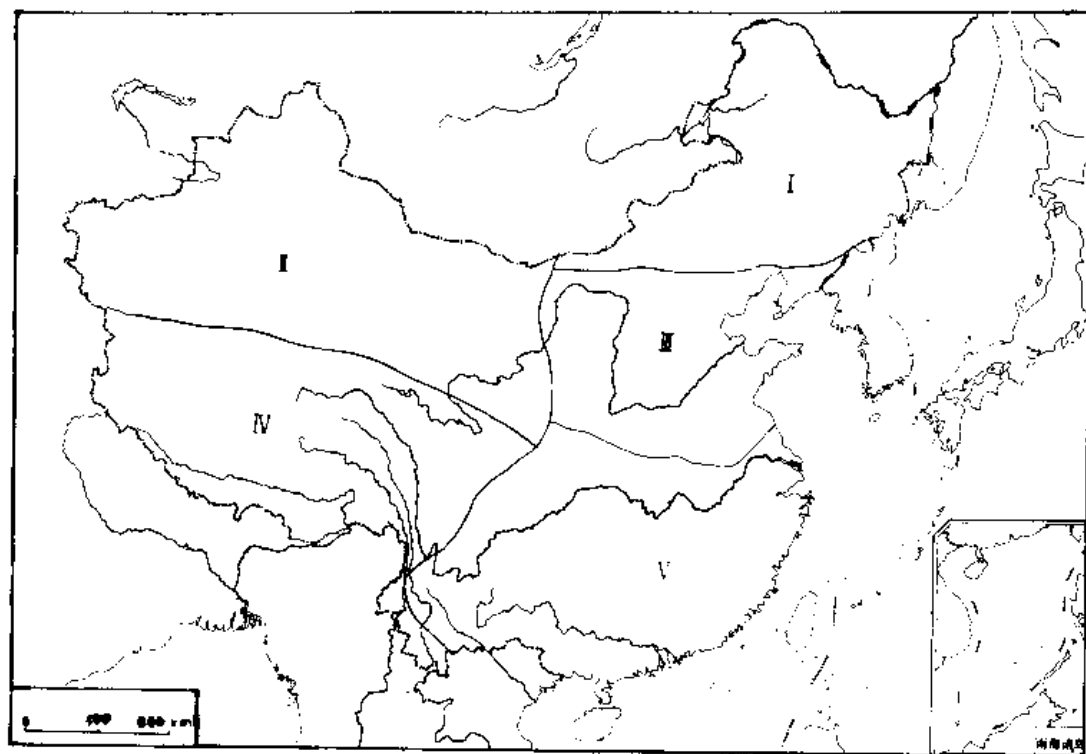


图1 中国聚煤区划分示意图

I—东北聚煤区；II—西北聚煤区；III—华北聚煤区；IV—滇藏聚煤区；V—华南聚煤区  
(据王煦曾, 1992)

中带 大致位于北纬  $37^{\circ}30'$ ~ $34^{\circ}30'$  之间地区, 包括山东、河北、山西中南部、河南北部、陕西、宁夏等煤田, 聚煤环境为滨海平原。①本溪组, 与北带相似。②太原组, 主要由海陆交替相的砂泥岩、石灰岩和煤层组成, 厚 100 余米, 旋回结构清楚, 岩性、岩相、煤层稳定性好, 便于对比。石灰岩从北往南由 3~4 层增至 10 层左右。聚煤作用发生在广阔平坦的滨海平原上, 含煤 5~10 层, 以薄煤层和中厚煤层为主, 顶板一般为海相灰岩或泥岩。③山西组, 为滨海三角洲冲积平原, 以细碎屑岩为主, 厚 60~100m, 含低硫煤 3~5 层, 其下部有层厚 3~6m 的稳定煤层, 为各矿主要可采对象。④石盒子组, 与北带相似。中带具各煤级烟煤和无烟煤。

南带 大致位于北纬  $34^{\circ}30'$  以南至聚煤区南部边界, 包括河南平顶山, 安徽淮北、淮南, 江苏北部等煤田。聚煤环境为滨海平原。①本溪组, 甚薄以至缺失。②太原组, 以浅海、滨海环境为主, 由石灰岩和砂泥岩组成。石灰岩一般为 8~10 层, 总厚 30~50m, 含数层

薄煤层。③山西组, 以滨海相、过渡相细碎屑岩为主, 含数层煤。④石盒子组, 由陆相和少量过渡相细碎屑岩组成, 含可采煤层 10 层左右。煤系总厚约 500m。煤质以低硫、低变质烟煤为主。

华北聚煤区晚古生代煤田具有以下规律: ①古气候, 早二叠世晚期干旱气候自北向南扩展, 致使聚煤作用从北往南迁移。主要可采层在北带位于晚石炭世太原组; 在中带位于晚石炭世至早二叠世早期的太原组和山西组; 在南带则位于早二叠世至晚二叠世早期的山西组和上、下石盒子组。②聚煤环境, 从南向北由滨海—浅海环境向滨海平原至滨海冲积平原环境过渡, 反映在岩性、岩相方面, 海相石灰岩、泥质岩逐渐减少, 过渡相、陆相碎屑岩逐渐增多, 碎屑岩由细变粗, 碎屑成分由简单变复杂, 分选性由好变差。③煤级, 高煤级煤主要分布于聚煤区中部, 焦作、阳泉、晋城等地均为无烟煤; 聚煤区外围除京西煤田等个别地区为无烟煤外, 大同、开滦、山东、淮南、淮北、平顶山等煤田一股均为低、中变质烟煤。④煤系赋存, 晚古生代煤系形



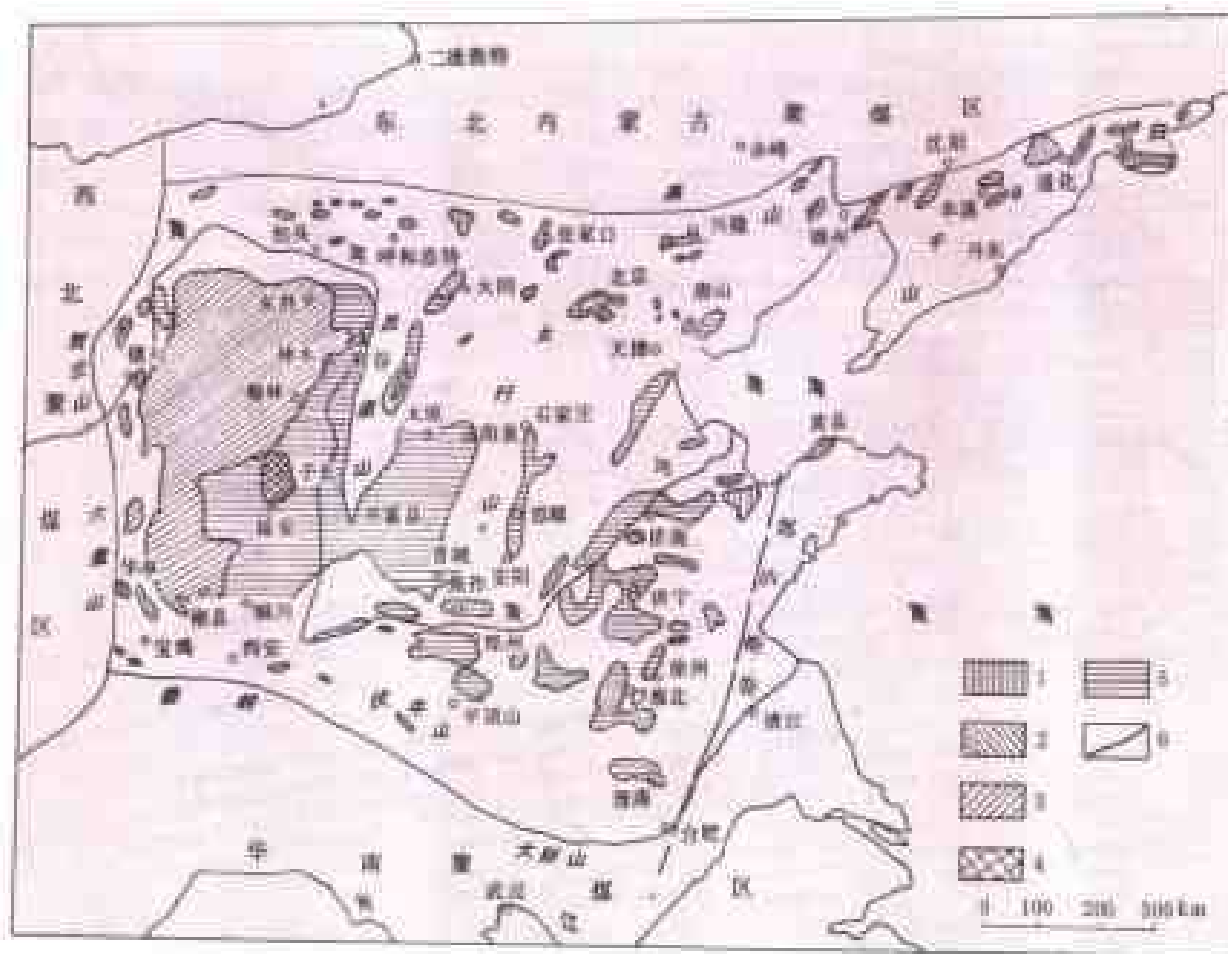


图2 华北聚煤区煤田分布示意图

1—第三纪煤田；2—晚侏罗世煤田；3—早中侏罗世煤田；4—晚三叠世煤田；5—石炭二叠纪煤田；6—聚煤区界线  
(据王煦曾, 1992)

成后,由于中生代地壳运动和后期剥蚀作用,使原先基本连续的煤系被分割,保存在沁水煤田、开滦煤田、兖州煤田等向斜盆地内。⑤岩浆活动,燕山期岩浆活动主要发生于聚煤区东部,致使北京、兴隆、淄博等煤田遭受岩浆侵入。

**华北早中侏罗世煤田** 华北早中侏罗世内陆型煤系一般厚数百米,沉积在三叠系碎屑岩上,呈假整合接触。分布在鄂尔多斯、大同、京西、北票等地为大、中型内陆波状拗陷型煤盆地。聚煤环境多属内陆湖盆,以河流、湖泊相砂泥岩为主,含煤性好,主要为低灰、低硫的低变质烟煤。除京西等煤田构造较复杂为无烟煤外,华北其它早中侏罗世煤田构造十分简单,一般岩层呈近水平。鄂尔多斯煤田面积约20余万平方公里,含煤岩系一般可划分10个旋回,含6~7层或10余层可采煤层。煤层稳定,总厚度在20m以上,煤炭资源丰富,为中国东部最大的煤田。大同煤田早中侏罗世煤

系厚200~300m,含可采煤层10余层,单层厚1~3m,煤层稳定,为目前中国最大的煤炭基地。

**华北第三纪煤田** 华北早第三纪煤系主要分布在河北张家口、山西繁峙、山东北部。其中,以龙口断陷型煤田最重要。煤系不整合覆盖在震旦系之上,厚1000m以上,中部含可采煤层4层,煤层平均厚度约4m,属褐煤。

**华南聚煤区** 范围在秦岭—大别山以南,龙门—大雪山以东,东和东南临黄海、东海、南海的广大地区,包括浙江、福建、台湾、广东、海南、江西、湖南、贵州、广西等省区和江苏、安徽、湖北、陕西等省的南部以及四川、云南两省的东部。该聚煤区以二叠纪煤田为主,其次是晚三叠世、第三纪和早石炭世煤田,除贵州西部煤田较大外,主要都是中、小型煤田。全区煤炭资源量约占中国煤炭总资源量的6%。

**华南早石炭世煤田** 主要分布在湖南中部、广东

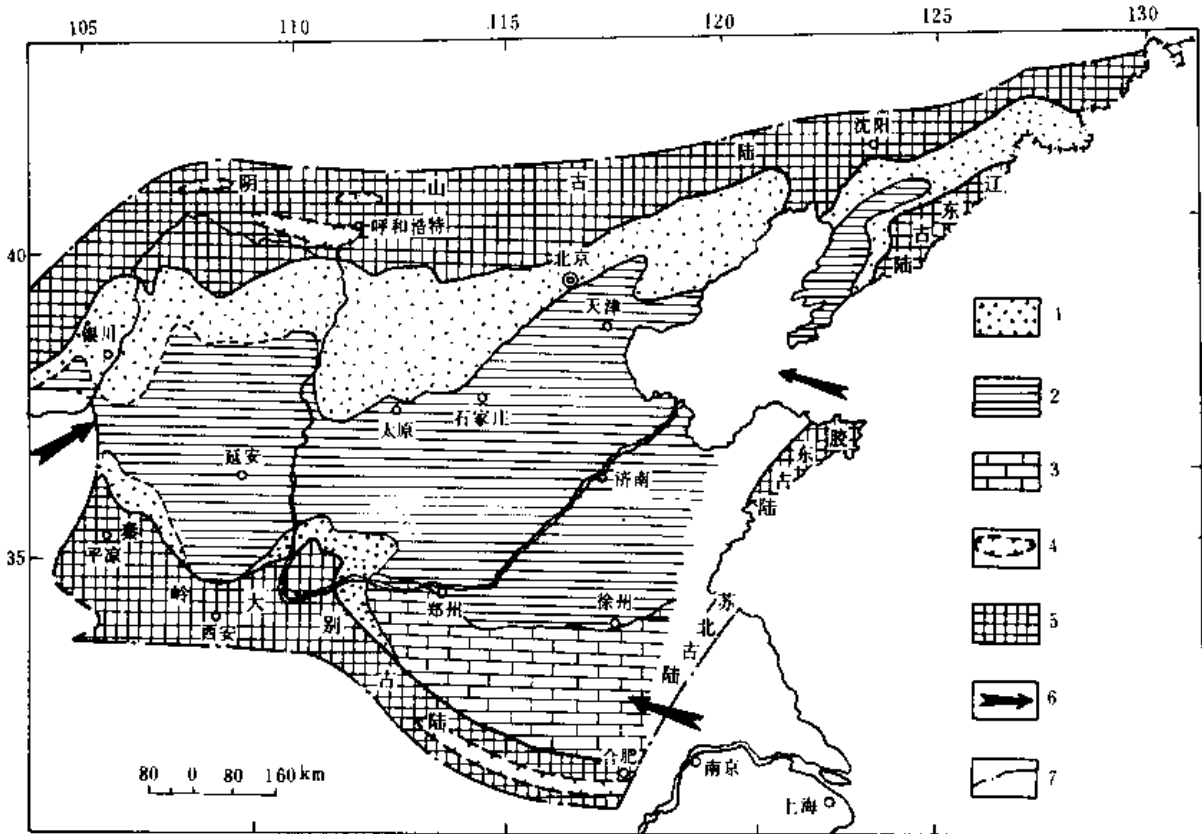


图3 华北聚煤区晚石炭世古地理略图

1—滨海冲积平原型；2—滨海平原型；3—滨海—浅海型；4—山间盆地；5—古陆；6—海侵方向；7—聚煤区边界  
(据韩德馨、杨超等, 1980)

北部、江西中南部等地,聚煤环境为滨海平原,近海型煤系厚度近200m,主要为潟湖、海湾夹滨海相碎屑岩系。含煤2~3层,煤层厚度一般为0.5~3m,多呈串珠状、鸡窝状,属高灰、高硫无烟煤。

**华南二叠纪煤田** 华南聚煤区赋存早二叠世初期和早二叠世晚期至晚二叠世两套近海型煤系。前者分布在湖北、湖南西部,安徽南部等地,煤系厚度一般小于30m,由滨海和海湾相碎屑岩组成,夹1~2层透镜状煤层,属高硫煤;后者在全区广布,早二叠世晚期至晚二叠世为该聚煤区最主要聚煤期,其煤炭资源量约占全区60%。聚煤作用有从东往西迁移的规律,浙江、福建、广东等沿海省份主要赋存早二叠世晚期煤系;江西、湖南、四川、广西等省区赋存晚二叠世早期煤系;晚二叠世晚期聚煤作用则发生在贵州西部、云南东部等地。聚煤作用向西迁移,与当时海水从东往西退出有关。该聚煤区二叠纪聚煤环境复杂,区内岛屿林立不同地区煤系特征、含煤性有很大区别,大致可分三种类型(图4)。

**滨海型煤系** 分布在福建、江西、湖南、广东、四

川、贵州西部一带,为一套以海相、过渡相碎屑岩为主的煤系,含煤性较好。该聚煤区西部的四川、贵州西部,为大型波状拗陷盆地,含煤性好,贵州西部六枝、水城、盘县地区可采煤层多达20余层,且较稳定,是华南富煤带。该聚煤区东南部,为若干长条形拗陷带,包括江西乐平—萍乡拗陷、福建西部—广东东部拗陷、湖南中部—广东北部拗陷等。其煤系厚度、岩性、含煤性沿拗陷带展布,一般含数层至10余层可采煤层,煤层总厚度可达10余米。

**滨海—浅海型煤系** 分布在广西、贵州中部及四川的一些地区,为一套滨海—浅海碳酸盐台地沉积体系,主要由石灰岩组成,仅在短暂的海退阶段形成高硫煤层,煤层中常见含海相化石的夹矸。

**陆缘型煤系** 分布在云南东部,靠近康滇古陆,基本由陆相碎屑岩系组成,含数层低硫煤层,总厚度可达10m以上。

上述三种类型之间呈过渡关系,滇东一带为陆缘型,往东,过渡相、海相层逐渐增多,贵州西部,变为滨海型,到贵州中部和广西,又变为滨海—浅海型。其

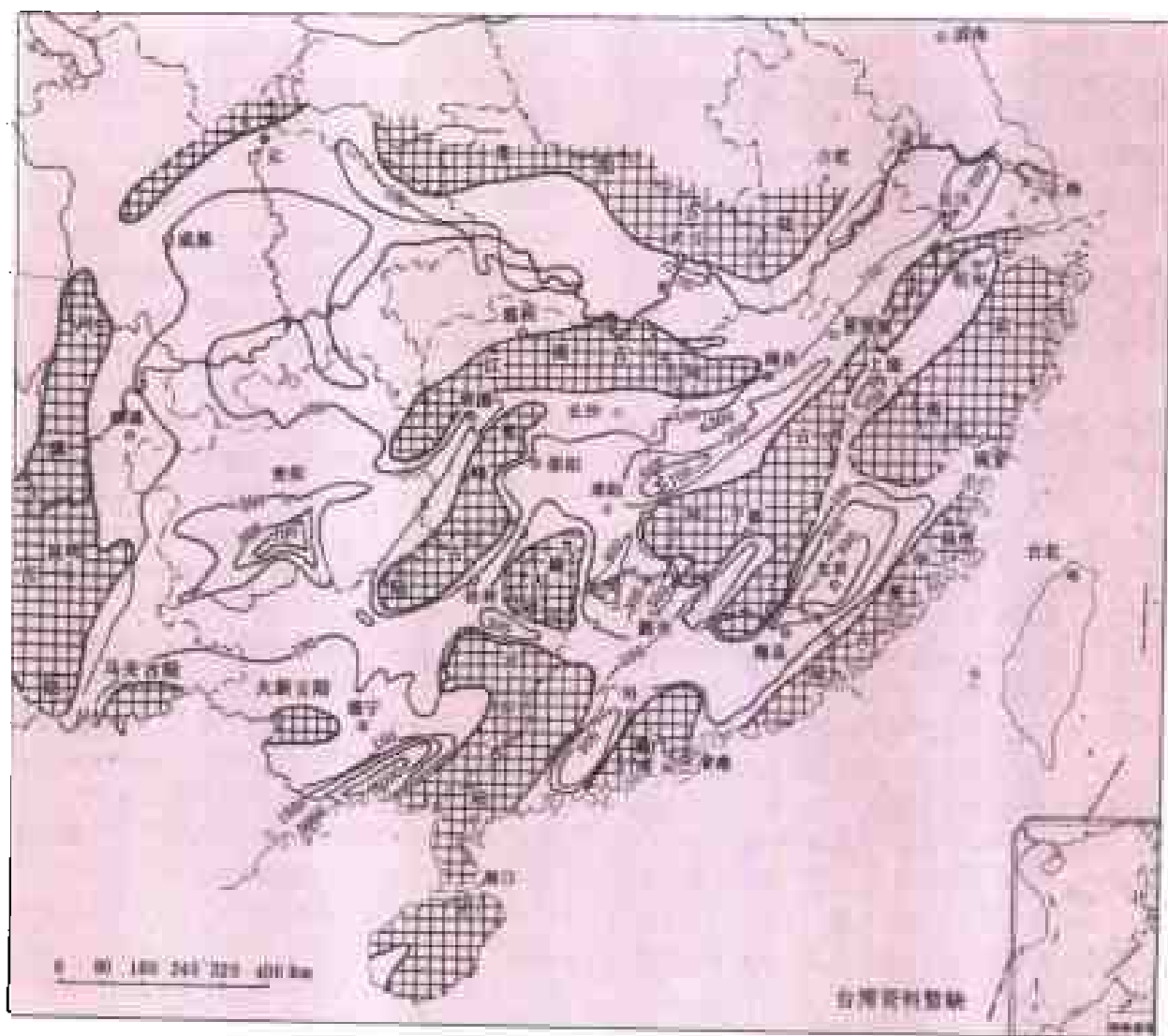


图4 华南聚煤区二叠纪煤系等厚线图  
(据韩德馨、杨起等, 1980)

中,含煤性以滨海型最好。煤系主要赋存在向斜内,构造一般较复杂。

**华南晚三叠世煤田** 晚三叠世华南发生大面积海退,气候由干旱转为湿热,形成有利的聚煤条件。聚煤作用主要发生在四川、湖南、江西等省。煤系主要由碎屑岩系组成。聚煤环境为以海湾、湖泊为主。煤层主要发育在湖泊、海湾三角洲之上,一般为薄煤层。按煤田和煤系特点可分三种不同的情况,即①东部地区,在江西、湖南、广东、福建等省,晚三叠世煤系厚度500~600m,含可采煤层多达10余层,赋存在若干狭长拗陷带中,与下伏地层呈不整合接触,煤田构造复杂,常见岩浆侵入体,煤盆地面积一般不大,著名煤田有萍乡煤田、资兴煤田等;②四川盆地及云南、贵州部分地区,含煤岩系赋存在大型波状拗陷中,煤系厚数百米,含煤性最好地带位于四川东部达县至永荣一带,含可采煤

层近10层,但煤层厚度一般小于1m,呈背斜,为低灰、低硫烟煤。其次为广元、广旺等地;③四川云南地区,煤系呈南北向延伸,以四川西部渡口宝鼎地区含煤性最好,煤系赋存于断陷型拗陷中,厚度为2000余米,属内陆型煤系,含可采煤层多达50~60层,煤层厚度一般在1m左右,为炼焦用煤。

**华南第三纪煤田** 主要分布在云南及广东、广西、海南和台湾等省区。除台湾为低变质烟煤外,其余均为褐煤。从所发现的动植物化石来看,第三纪时华南属热带、亚热带潮湿气候。

**云南晚第三纪煤田** 云南拥有200多个晚第三纪小型煤盆地,面积从数平方公里至数百平方公里不等。这些盆地多为内陆山间盆地或山间谷地,但其成因类型则多种多样:既有构造盆地,又有侵蚀盆地,且其煤系厚度也从数十米至500余米不等,常含巨厚褐煤层,

褐煤资源量达亿吨以上的有昭通、小龙潭、罗茨等煤田。由于其巨厚煤层离地表近,因而相当部分可供露天开采。其中,以昭通煤田最大,总面积达 230km<sup>2</sup>,含煤面积约 190km<sup>2</sup>、煤系厚度受盆地基底起伏的影响,从数十米至 500 余米不等,煤层厚约百余米,最大可达 190m。开远小龙潭煤田面积 20 余平方公里,主采煤层厚度为 4~200 余米,平均厚度约 140m,以光亮煤和半亮煤为主,煤层中发现大量贝壳和螺化石,煤层上部还采集到许多象、森林古猿和蛇的化石。

**广东、广西、海南第三纪煤田** 鉴于近年来在煤系中发现了半咸水的动物化石和海绿石等矿物,从而确认其煤系属于近海型。海侵方向来自北部湾。著名的煤田有,①广西百色煤田,煤系厚度达数百米,含可采煤层约 10 层,多为薄煤层;②广东茂名煤田,煤系厚度百米左右,含可采薄煤层 3 层;③海南长坡煤田,煤系厚度 200~300m,含可采薄煤层 8 层,分布面积约 300km<sup>2</sup>。上述各煤田构造简单、煤与油页岩共生,尤其是茂名煤田,其煤层上方有厚度为 10~30m 的优质油页岩,其中发现大量已油页岩化的海龟化石。

**台湾第三纪煤田** 位于台湾省西北部,自基隆经台北、新竹至苗栗,呈北北东向带状分布,长约 120km,宽约 20km<sup>2</sup>,为近海型煤田。煤系厚度达数千米,以滨海相沉积为主,含可采煤层 10 余层,煤层厚度一般小于 1m,开采困难。煤级为长焰煤、气煤,局部因岩浆侵入变质程度增高。据 1992 年统计,台湾煤炭经济可采储量为 0.1Gt。

**西北聚煤区** 又称西北早中侏罗世聚煤区,范围在贺兰山—六盘山一线以西,昆仑山—秦岭一线以北的广大地区。包括新疆全部,甘肃大部,青海北部,宁夏和内蒙古西部。该聚煤区主要为早中侏罗世内陆型煤田(图 5),煤级以低变质烟煤为主,低硫,灰分较低。石炭二叠纪煤系主要分布在甘肃,含煤性及煤质均较差。全区煤炭资源丰富,资源量约占中国煤炭总资源量的 33%。

**新疆早中侏罗世煤田** 主要有准噶尔、塔里木、吐鲁番—哈密、伊犁等四个大型波状拗陷煤盆地。聚煤环境多为大型山间或山前盆地。这些盆地规模巨大,所赋存的内陆型煤系的厚度达数千米,以湖泊相、河流相砂泥岩为主,由于含煤性好,具有厚煤层,且延伸很远,因而新疆煤炭资源量占全国的 90% 以上,居中国各省区之冠。该煤田聚煤最丰富的地区位于天山南、北两侧,其中准噶尔煤盆地面积达 16 万 km<sup>2</sup>,为一套冲积相、湖泊相、沼泽相交替的煤系,其南侧的乌鲁木齐煤田,煤系厚度千余米,含可采煤层 40~50 层,其中有的煤层厚数十米,煤层总厚度可达百余米,且较稳定,

为急倾斜煤层。新疆地区煤田地质研究程度较低,尤其新疆南部地区含煤情况尚不清楚,有望发现更多煤炭资源。

**青海北部-甘肃中部早中侏罗世煤田** 大致分布在敦煌和兰州之间,即祁连山、北山地区,是一系列彼此隔绝的中、小型内陆煤盆地,其总体呈北西西向展布。青海北部大通河流域和柴达木北缘的煤盆地以及甘肃永登窑街和兰州阿干镇等煤田的早中侏罗世煤系,一般厚度数百米,为河流相、湖泊相的砂泥岩沉积,含煤性一般较好,有些煤田有较稳定的厚煤层,但各煤盆地形成的机理和聚煤环境有所不同,在岩性、岩相和含煤性方面均有差异。其中,窑街煤田为波状拗陷形成的内陆湖盆沉积体系,岩性颗粒细、沉积稳定、主要可采煤层厚度达数十米,阿干镇煤田为断陷型山间盆地,盆地底部和边缘有较厚的洪积物,岩性粗,稳定性差,厚煤层急剧分叉。

**东北聚煤区** 又称东北内蒙古晚侏罗早白垩世聚煤区,范围大致在北纬 40°以北、东经 110°以东,北和东北以国界为界,包括黑龙江全部,吉林大部、辽宁北部和内蒙古东部的广大地区(图 6)。该区晚侏罗早白垩世煤田煤炭资源丰富,约占全区资源量 78%。除黑龙江东部存在波状拗陷型近海型煤田外,主要为燕山运动形成的北北东向的断陷煤盆地群,早第三纪亦有煤田形成。该聚煤区煤炭资源量约占中国煤炭总资源量的 8%。

**黑龙江东部近海型煤田** 双鸭山、勃利、双桦和宝清等煤田的晚侏罗早白垩世煤系原为一体,位于三江—穆稜波状拗陷盆地内,由于后期构造变动和剥蚀作用才分隔开。三江—穆稜盆地东面与海域相通,海侵时形成海湾、潟湖环境,聚煤环境为近海冲积平原。煤系厚度在 1000m 以上,岩性粒度较细且稳定,仅在西部边缘地区出现粗粒碎屑岩,含可采煤层 10~20 层,多为薄煤层,但较稳定。地质构造较复杂。属低、中变质烟煤。

**东北断陷型煤田** 亚洲东部地区晚侏罗早白垩世由于燕山运动形成 200 多个北北东向中、小型断陷盆地群,呈狭长状分布。这些盆地既有地堑式又有半地堑式,宽约数公里至数十公里,一般都蕴藏着丰富的褐煤或低变质烟煤,总计 200~300Gr。煤集中在盆地面积 1/30~1/100 的富煤带部位,煤层往往厚数十米且接近地表,可供建设大型露天煤矿。中国境内已发现这类煤田 100 余个,主要分布在大兴安岭以西的内蒙古东部地区,近年在松辽平原新生界以下也发现不少这类煤田。这些盆地形成早期普遍有大规模火山沿盆地边缘断裂带喷发,盆地底部常有巨厚的火山岩系不整合

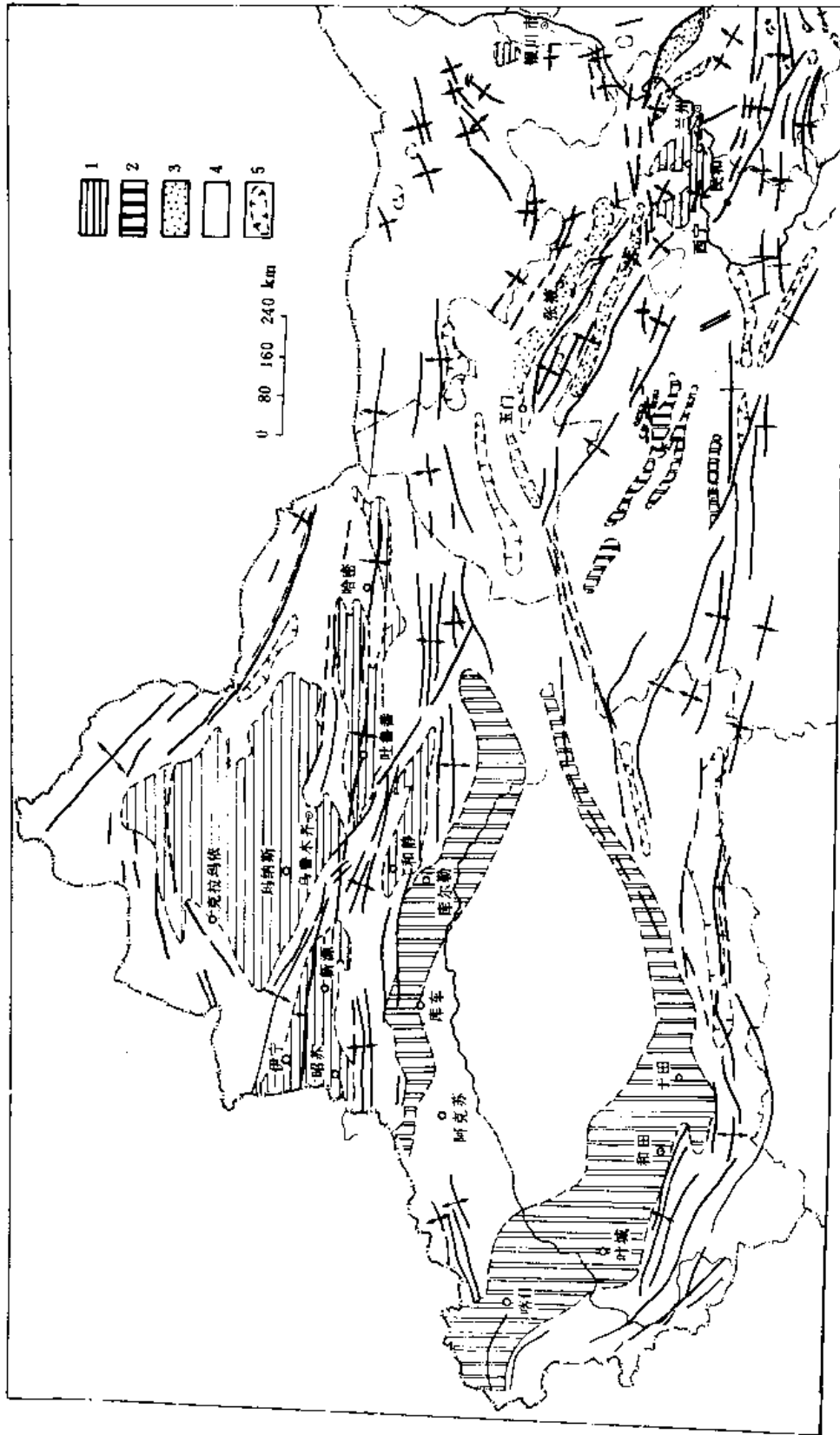


图5 西北聚煤区早中侏罗世煤盆地类型及其分布略图  
1—山间盆地型；2—山前谷地型；3—研究较差的盆地；4—研究较差的盆地；5—推测沉积盆地范围

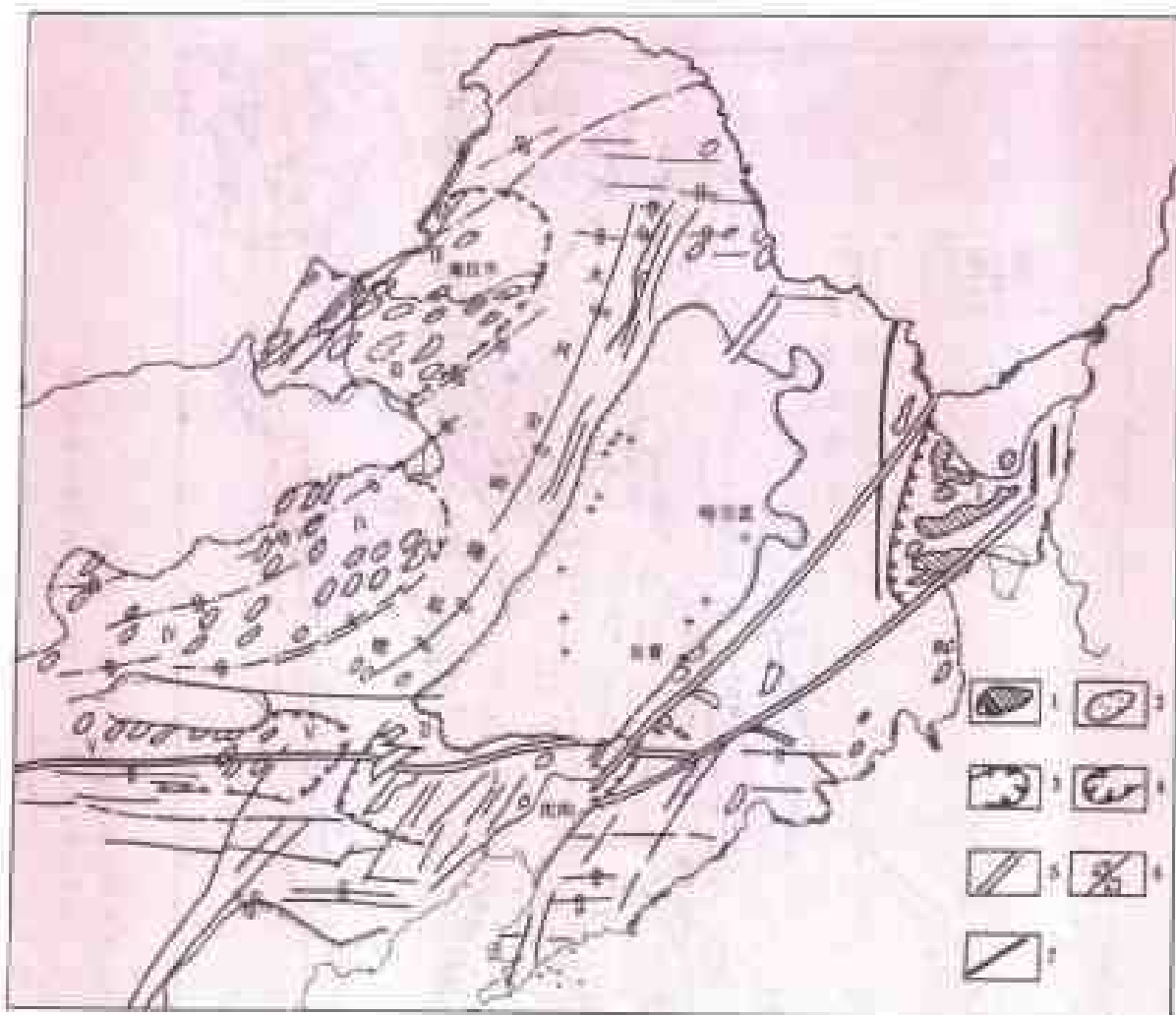


图6 东北聚煤区晚侏罗早白垩世煤系分布示意图

1—近海型含煤岩系；2—内陆型含煤岩系；3—盆地群大致范围；4—三江—穆稜聚煤拗陷边界；5—重要分界断裂；  
6—褶皱；7—断裂；I—三江—穆稜拗陷；II—赤峰—铁岭盆地群；III—海拉尔盆地群；IV—巴彦和项盆地群；  
V—多伦盆地群

(据武汉地质学院煤田教研室，1979简化)

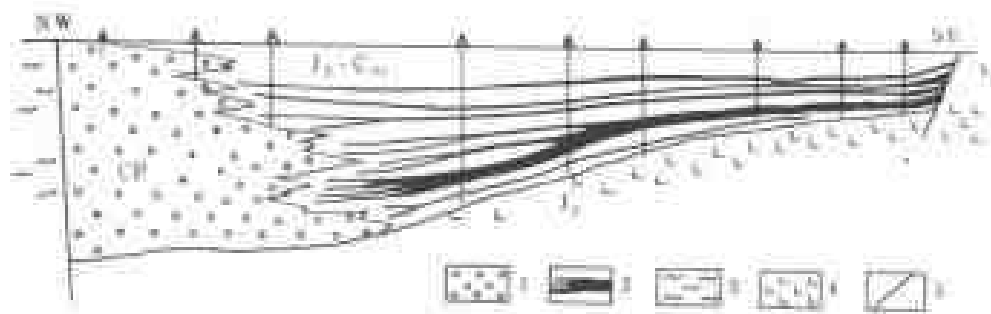


图7 霍林河煤田断面图

1—洪积砾岩；2—煤层；3—变质岩系；4—火山岩系；5—断层

(据吉林煤田地質公司)



地覆盖在不同时代地层之上,盆地边缘往往有巨厚的山麓堆积,随后为河湖相沉积,数十米厚的煤层一般发育在湖滨地带,煤系厚度可达1000m以上,但其厚度与岩性横向变化大。已开发的阜新、铁法、元宝山、伊敏河、霍林河等煤田,都见有厚煤层常因同生断裂而引起分岔的现象(图7)。

**东北第三纪煤田** 东北早第三纪煤系主要赋存于与北东向断裂带有关的中、小型煤盆地中,一般厚度1000m,主要由陆相砂泥岩组成,与下伏地层呈不整合接触。煤系中常见巨厚煤层并与油页岩共生。其中,辽宁抚顺煤田面积24km<sup>2</sup>,煤系主要由泥岩、粉砂岩组成,聚煤环境为山间静水湖盆,主要开采煤层平均厚度为40m,最厚达120m,其上为50~190m厚的油页岩,属低变质烟煤;沈北煤田亦赋存煤层厚度为数十米的褐煤;吉林的梅河、舒兰、珥春等煤田,煤层厚度较小,但层数多达10余层,煤层总厚度亦可达数十米,均属褐煤。

**滇藏聚煤区** 范围在龙门山—大雪山以西,昆仑山系以南,包括西藏、云南西部、青海南部和四川西北部的广大地区。聚煤期以二叠纪和晚第三纪为主,早石炭世、晚三叠世和晚白垩世煤系虽有分布,但含煤性差。二叠纪近海型煤系主要分布在青海西南和西藏昌都等地,厚度在千米以上,以砂泥岩为主夹少量石灰岩,含近10层透镜状、似层状薄煤层,多属贫煤。晚第三纪内陆型煤系主要分布在该聚煤区东南部,主要在云南,现已发现50余个中、小型山间盆地或断陷盆地,具有可采煤层数层,煤层厚度变化大,含煤性远不及滇东,属褐煤。滇藏聚煤区地质研究程度最低,煤炭资源贫乏,约占中国煤炭总资源量的0.1%。

**中国聚煤规律** 中国聚煤期较多,聚煤环境多样,煤田类型众多,煤种齐全,聚煤作用的历史演化有以下规律。

**聚煤作用的迁移** ①中国形成有工业开采规模的煤炭资源,始于早石炭世的湖南中部等地。②晚石炭世至早二叠世,聚煤作用主要发生在华北聚煤区。③二叠纪,聚煤作用从北往南迁移到华南聚煤区。④早二叠世晚期到晚二叠世,华南聚煤区聚煤作用又从东往西迁移。⑤早中三叠世,全球因气候干旱聚煤作用微弱。⑥晚三叠世,聚煤作用主要发生在华南聚煤区,到晚期又迁移到陕甘宁一带。⑦早中侏罗世,聚煤作用大致发生在北纬35°~45°之间,包括西北聚煤区和华北聚煤区。聚煤中心是新疆和陕甘宁盆地。⑧晚侏罗早白垩世,聚煤作用迁移到东北聚煤区。⑨第三纪,聚煤作用主要发生在沿海潮湿地带。⑩第四纪,中国广大潮湿地区均有泥炭分布,但主要集中在四川和东北。

**聚煤环境的变迁** 中国早古生代的石煤是由浅海、海湾内低等植物遗体转变而成。晚古生代煤炭是由生长在热带、亚热带滨海泥炭沼泽中的高等植物遗体转变而成,除个别地区外,均形成于近海型煤田。中生代的煤炭主要形成于温带、亚热带内陆环境的内陆型煤田。第四纪无论是在热带、温带和寒带,还是在滨海或高原,凡具有湿润的气候之处,均有泥炭堆积。总之,中国各聚煤期的聚煤环境,有从浅海、滨海向内陆;从热带、温带向寒带扩展的进程。这和植物的演化相适应。

**聚煤盆地的演变** 中国晚古生代煤盆地主要为大型波状拗陷,范围大;煤系一般厚数百米,旋回结构清晰,含可采煤层数层,主要为薄层或中厚煤层,岩性、岩相、煤层稳定性好,以华北聚煤区最典型。中生代既有新疆、陕甘宁、四川等大型内陆波状拗陷煤盆地,又有青海、甘肃、晋北与京西等中、小型拗陷型煤盆地,断拗型煤盆地。晚侏罗早白垩世和第三纪,又在东北聚煤区出现中、小型断陷型煤盆地群,其中往往发育巨厚煤层,但分岔尖灭现象明显。总之,煤盆地成因有向多样化发展的趋势。

**煤质的变化** 中国烟煤的资源量占全国煤炭总资源量的72%,褐煤约占15%,无烟煤约占13%。从地质时代看,古生代煤田所赋存的煤炭均为烟煤和无烟煤,煤岩类型常为光亮煤和半亮煤,煤中含硫偏高,顶板为石灰岩的煤层含硫更高。中生代煤田则以低、中变质烟煤为主,内蒙古东部为褐煤,个别地区有无烟煤;煤岩类型以半亮煤、半暗煤为主,丝炭含量较多、含硫量偏低。新生代第三纪煤田绝大部分为褐煤,仅抚顺、台湾等极少数煤田出现低变质烟煤,含硫偏低。第四纪为各种类型的泥炭。

上述聚煤规律系由植物的形成和演变、古气候的变迁、古地理环境和地壳运动的演化等聚煤条件所决定。

### 参考书目

韩德馨、杨起等,《中国煤田地质学》下册,煤炭工业出版社,1980。

武汉地质学院煤田教研室,《煤田地质学》下册,地质出版社,1981。

王竹泉,《华南晚二叠世煤田形成条件及分布规律》,煤炭工业出版社,1980。

李思田等,《断陷盆地分析与煤聚积规律》,地质出版社,1988。

王煦曾等,《中国煤田的形成与分布》,科学出版社,1992。

(叶敦和 邵震杰)

jumei tiaojian

**聚煤条件** (requirement of coal-accumulation) 煤炭资源聚集所必须具备的前提, 通常包括: 形成泥炭的古植物条件及植物繁殖和遗体保存所必要的古气候、古地理、古构造等条件。

**古植物条件** 古植物是成煤的主要原始质料, 地史中植物界的组成和演变以及植物群属的地理分布, 决定了成煤作用的发生和演化, 也是确定和划分聚煤期、聚煤区的重要依据 (见成煤植物)。古植物条件的主要研究内容, ①鉴定、统计植物组成及植物群落; ②确定植物生态、结构及其与煤质的关系; ③确定主要成煤植物。

**古气候条件** 古气候影响植物组成与繁殖, 控制植物群落的分布及其遗体的变化和泥炭沼泽的形成与演变。其中, 影响最大的是气候带、气温和空气湿度。

**气候带** 现代的地球存在明显的按纬度划分的气候带现象, 自赤道至两极为热带、亚热带、温带、寒带; 同时, 在一些区域依一定纬度延展着干旱气候带。地史中的地球亦存在气候分带现象, 但其具体位置随不同时期赤道的变化而有所迁移。地史中的气候带是各聚煤期大范围控制聚煤带边界的主要条件。

对古气候的认识, 主要借助于对古植物的研究, 以

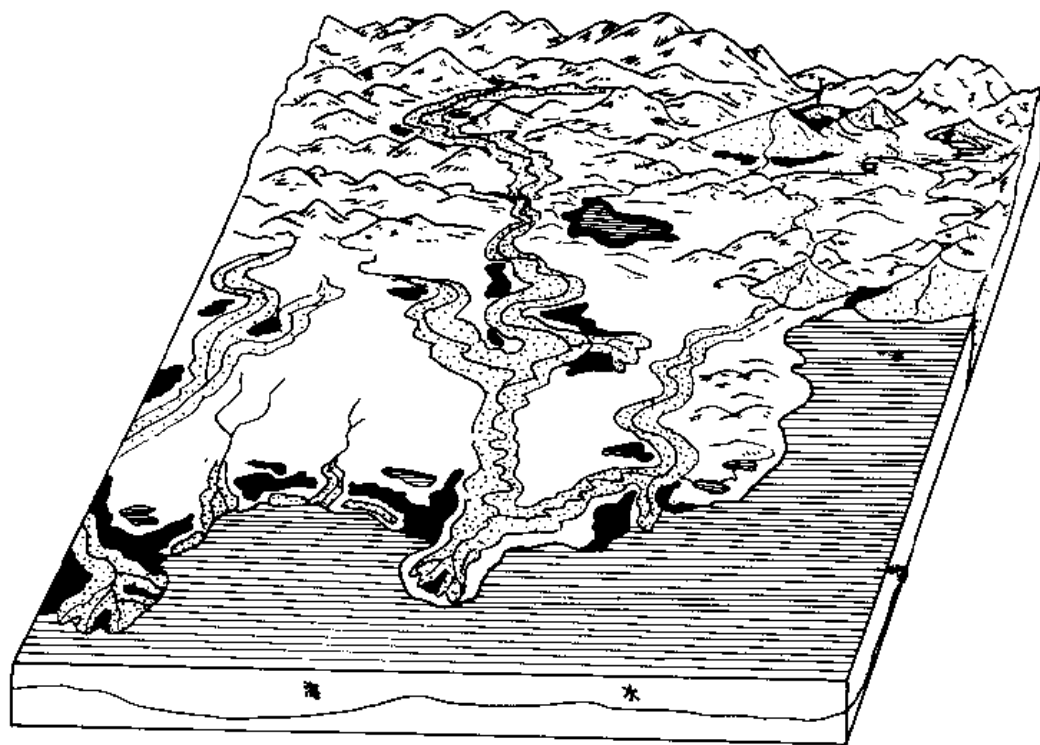
及对古地磁、海水温度和煤系中某些矿物的研究。

**气温** 它影响植物的属、种及其繁殖生长速度、遗体分解速度。气温越高, 植物繁殖生长和遗体分解速度越快, 几乎成正比。温暖气候对泥炭形成与堆积比较有利。

**空气湿度** 它是植物生存繁衍的必要条件。湿度可以年平均降水量和平均蒸发量的比值来测量, 称湿度系数。湿度系数大于 1 时, 就能引起沼泽化。在不同气温条件下, 只要湿度足够, 都可以生长植物、发育泥炭沼泽并形成泥炭层。相反, 当湿度系数小于 1 时, 大气显得干燥, 既不利于植物生存和泥炭沼泽的形成, 植物遗体也易氧化分解, 难以保存。

**古地理条件** 泥炭的积累场所都处于特定的古地理环境。泥炭沼泽位于地势低洼又不易泄水之处, 这种条件多出现于冲积扇边缘, 扇间低洼地带, 湖泊、潟湖、海湾、浅海的滨岸地带, 河漫滩后的牛轭湖等地理环境。而腐泥多积聚于不受水流扰动的海底、湖底等低洼部位。古地理条件直接影响煤层的空间分布, 包括煤层发育地段 (下图)、形态、结构、侧向变化以及顶、底板岩石特征等。

煤系和煤层的延展范围, 基本由占地形确定, 近海环境一般比内陆环境的地形简单平缓, 有更广阔的分



古地理环境及泥炭沼泽分布示意图

\* 涂黑处为泥炭沼泽范围



布。

古地理条件分析的内容有：沉积区、剥蚀区及其边界，古地理单元及其划分，海侵方向，古流向等（见聚煤古地理）。

**古构造条件** 它不仅直接控制聚煤场所，也影响古地理、古气候、古植物等其它条件，从而对聚煤过程起到控制作用。

地壳构造活动引起地表的隆起和拗陷，产生剥蚀区和沉积区。沉积区的范围、方向、边界均由拗陷性质的古构造活动所决定；同样，沉积充填的厚度、结构、纵横向上的变化等，亦均由古构造活动性质及其强度、速度所决定。可以说，煤系的形成、分布范围、其结构和相变，以及煤层厚度、结构、横向变化等主要是古构造控制的结果。中国晚古生代煤系形成于广阔的拗陷盆地，而中、新生代煤系一般则形成于较狭小的断陷或

拗陷盆地，表明了中国大地构造发展中显著不同的古构造特征。

古构造在一定程度上控制了海、陆分布，剥蚀区地形，煤盆地的边界及其内部地形的复杂程度。这些，都间接影响了陆地植物的生长区域，以及由地形高差引起的气候变化。煤层的形成，除有古植物这一内在条件外，必须有相应的古构造条件。植物遗体的不断堆积埋藏，必须得到古构造拗陷的配合，只有这样煤炭才能形成和保存。

古构造研究既要通过对煤系厚度、结构等资料的分析、综合，又要鉴别源岩区、古流向、古构造形迹等，加以通盘考虑，以重塑古构造环境（见同沉积构造、煤盆地分析、煤田地质构造）。

（邵震杰 王煦曾）

## K

kasite xianluozhu

**喀斯特陷落柱 (karst collapse column)**

又称岩溶陷落柱,简称陷落柱,煤层下伏碳酸盐岩等可溶岩被地下水溶蚀产生空洞,引起上覆岩层冒落而成的柱状塌陷体。在陷落柱发育的矿区,煤层遭受严重破坏,不仅影响巷道和采煤工作面的正规布置,限制采掘机械的有效使用,而且造成煤炭资源的大量损失,打乱生产计划,降低煤矿经济效益。特别在水文地质条件复杂的矿区,陷落柱可能成为采掘场所与地下水的通道,给生产和人员人身安全带来严重威胁,甚至造成突水淹井事故。

中国华北石炭二叠纪煤系及华南晚二叠世煤系的下伏岩系均为喀斯特发育的石灰岩,在这些地区的许多矿区常见喀斯特陷落柱发育。

**形态特征** 包括地表形态特征和井下形态特征。

(1) 陷落柱地表形态特征。塌至地表的陷落柱,在地表常呈环形印地或圆形凸包。

(2) 陷落柱井下形态特征。在煤矿井下,陷落柱形态多呈上小下大的柱状体,但在含水较多的松散岩层中,亦见有上大下小的漏斗状陷落柱。其中心轴常与岩层层面近似垂直,横截面形态多数为椭圆形,少数近似圆形或长条形。

**规模特征** 指横截面直径和高度大小。

(1) 横截面直径。相差悬殊,从数米、数十米至数百米都有发现。

(2) 高度。数十米至数百米不等。

**界面特征** 陷落柱与围岩的接触面界线分明,多呈锯齿状折线。接触带附近围岩(煤层及岩层)微向柱心倾斜,张裂隙发育,煤质松散,常有风化现象。陷落柱柱面粗糙,无擦痕和滑动镜面。

**物质成分特征** 陷落柱由上覆岩层塌落碎块堆积而成,碎块大小悬殊,棱角明显,形状各异,成分复杂,混杂堆积,并为岩屑、煤屑松散充填与胶结。有地下水长期活动的陷落柱,其碎块表面及间隙中常见有铁质、碳酸钙质或高岭土质等物质沉淀。

**发育分布特征** 陷落柱具有特殊的上下对应关系,即地表见有陷落柱,井下必定有;上部煤层见有陷落柱,下部煤层中必定有。

陷落柱的发育与分布,主要受地质构造和水文地质条件的控制。陷落柱发育地带,多是或曾是地下水强径流带。

**成因** 对于喀斯特洞穴塌陷的原因,如今存在重力塌陷和真空吸蚀两种看法。持重力塌陷观点的人认为,溶洞上覆岩层的塌落,是重力作用的结果;持真空吸蚀观点的人则认为,溶洞上覆岩层的塌落,是密闭喀斯特溶腔内地下水水位下降,产生负压,强力抽吸上覆岩层向下冒落的结果。

**探测** 在煤层下伏碳酸盐岩等可溶岩地区,根据陷落柱的形态特征、规模特征、界面特征、物质成分特征和发育分布特征,通过地质观测判断其有无,进而采用井下钻探、物探、化探等技术手段,确定其位置、形状、规模和充水特征,最后用巷探加以验证。

鉴于陷落柱具有密度比围岩小、电阻率较围岩低和导水、透气等物性,在地表,可采用精密重、磁测量和氢、钍放射性测量等物、化探方法,圈定其分布范围;在井下,可采用坑道无线电波透视、槽波地震和地质雷达等井下物探方法和井下钻探进行探查。

**预测** 包括根据分布规律预测和从已知陷落柱推延预测两类。

(1) 根据分布规律预测。根据喀斯特发育特点和陷落柱在条件相近邻区的分布特点,进行类比预测,并对陷落柱发育程度进行分区。

(2) 从已知陷落柱推延预测。利用上部煤层已揭露陷落柱的资料,根据其形态特点,预测其在下部煤层中的位置、形状和规模;或根据局部揭露陷落柱的资料,预测其整体形状和规模。

(龙荣生)

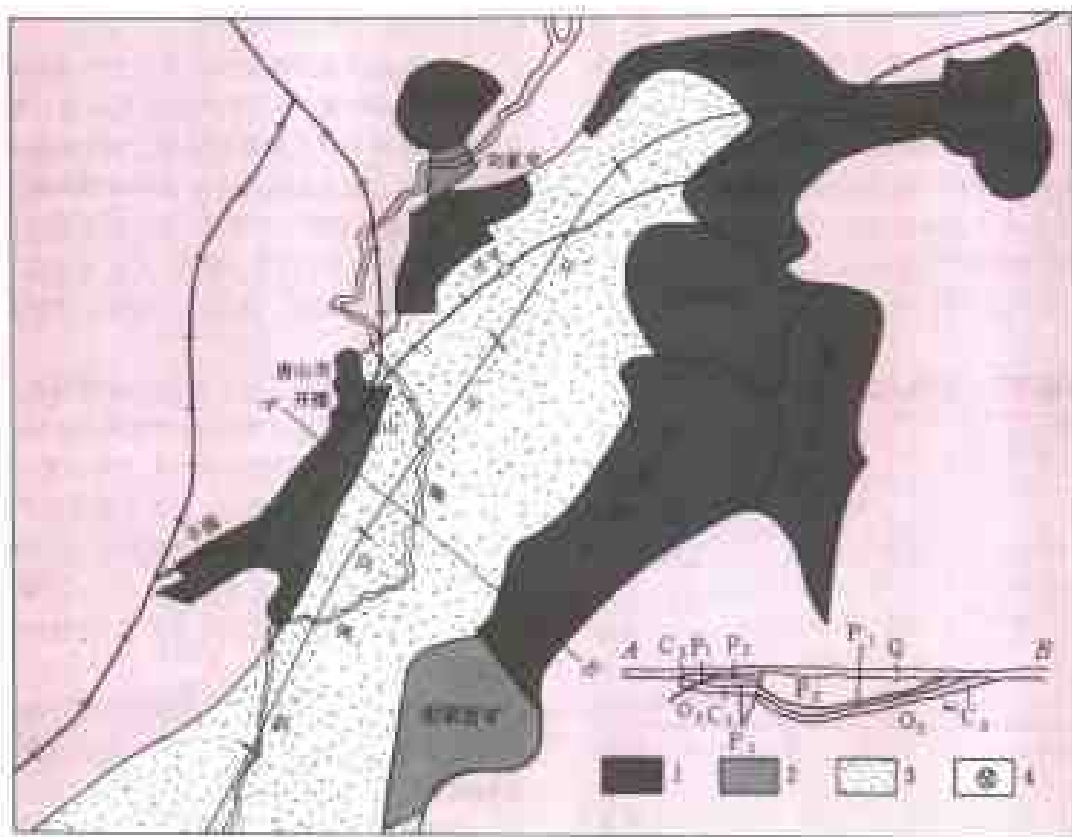
Kailuan Meitian

开滦煤田 (Kailuan Coalfield)

中国华北聚

煤区著名的石炭二叠纪煤田,盛产优质炼焦煤。它位于河北省东部,跨唐山、滦县、滦南、丰润、丰南等5市、

县,平面呈北东向长条状,面积550km<sup>2</sup>。京山铁路纵贯煤田,煤田由开滦矿务局负责煤炭开采(下图)。



开滦煤田示意图

1—生产区; 2—规划区; 3—深部及预测区; 4—矿务局

**地质构造** 开滦煤田呈一北东向向斜构造, 称开平向斜, 其东北端仰起, 向西南方向倾伏, 东南翼倾角20°左右, 西北翼稍陡。向斜轴部为晚二叠世红色、杂色地层, 翼部为石炭二叠纪煤系, 外缘为奥陶纪石灰岩, 轴部奥陶系顶面深度一般不足2000m。整个向斜基本为第四系覆盖, 覆盖层由北东向南西方向加厚, 至煤田西南端已厚达800m以上。向斜东南翼局部地段有中生代辉绿岩侵入煤系, 呈岩墙、岩脉产出。

**煤系** ①晚石炭世早期唐山组。由海陆交替相泥岩、砂岩夹薄层石灰岩及铝土岩组成, 厚73m, 含3~4层薄煤层。②晚石炭世中期开平组。由海陆交替相砂岩、薄层石灰岩、煤层组成, 厚65m。③晚石炭世晚期赵各庄组。由陆相及滨海相砂岩、粉砂岩夹煤层组成, 厚79m。④早二叠世早期大苗庄组。由陆相砂岩、粉砂岩、泥岩及煤层组成, 厚74m。整个煤系共含煤层18层, 其中可采及局部可采煤层5~7层, 可采煤层总厚度12~18m。

**资源** 开滦煤田煤炭资源量10.8Gt, 探明煤炭储量约4Gt。煤种为气煤和肥煤, 为低—富灰、低—富硫煤, 洗选后成为优良的炼焦用煤。煤系及其上覆地层中有铝土矿、粘土矿多层, 已开发加工陶瓷及耐火材料制品, 尚有进一步开发前景。煤系及煤层中的层状、结核状黄铁矿亦有开发前景。

**开采地质条件** 开滦煤田的煤层以中厚煤层为主, 倾角由缓倾斜至急倾斜, 地质条件总体上属中等。煤田水文地质条件较复杂, 有五个主要含水层, 水量丰富, 尤以煤系下伏奥陶纪石灰岩的岩溶裂隙水对矿井威胁最大, 曾多次发生突水及特大型突水灾害。瓦斯含量以向斜西北翼各矿井为高, 属高瓦斯矿井及瓦斯突出矿井; 东南翼较低, 一般为低瓦斯矿井。煤层自然发火期较长, 一般无自燃现象。

**开发概况** 史载开滦煤田在明代即有采煤活动。1878年, 李鸿章、唐廷枢筹办开平煤矿, 1881年出煤, 继台湾基隆煤矿之后开始了近代化采煤作业。1900

年,开平煤矿改由英商经营,1908年另又建立滦州煤矿,1912年开平、滦州两煤矿合并为开滦矿务总局,由英商经营,1949年中华人民共和国成立后由国家接管。近40年来,开滦矿务局凭借位置、交通之利,进行了高强度的开采,目前煤田内浅部煤炭资源均已动用。开滦矿务局在煤田内有生产矿9处,年总生产能力20.80Mt(下表),年产煤近16.00Mt。原有国各庄矿已采完,现有唐家庄矿所剩煤炭储量已不多,亦将采完报废。开滦矿务局已在开滦煤田以西的车轴山、林南仓等煤产地进行开发建设。在煤田内,另有地方煤矿进行煤炭开发,年生产能力约100余万吨。

开滦煤田开滦矿务局所属矿产生产能力表

| 矿   | 能力 (Mt/a) | 矿   | 能力 (Mt/a) |
|-----|-----------|-----|-----------|
| 唐家庄 | 3.20      | 林南仓 | 3.00      |
| 马家沟 | 1.10      | 四家岭 | 3.50      |
| 荆各庄 | 1.40      | 唐家庄 | 2.40      |
| 赵各庄 | 3.00      | 钱家营 | 4.70      |
| 唐家庄 | 1.10*     | 合 计 | 20.80     |

\*唐家庄矿即将报废,已无生产能力。表中为1991年实际产量。

(王煦曾)

kantan gongcheng buzhi

## 勘探工程布置 (exploration engineering arrangement)

为查明勘探区的地质和煤炭资源状况,按一定系统、方式布置的钻探、物探、坑探等勘探工程。各种勘探工程通常按一定的排列、组合形式进行布置,以利于对各个工程获得的地质资料进行对比、分析和编制各类综合地质图件,满足煤矿生产建设的需要。在煤田地质勘探中,勘探工程布置有勘探线和勘探网两种系统。

**勘探线** 各种勘探工程布置在一组与地层走向或主要构造线方向基本垂直的铅垂剖面内,在地表构成一组平行或不平行的直线。它是煤田地质勘探中使用最多的勘探工程布置的基本方式。

**勘探线布置原则** 由于沿垂直于地层走向或主要构造线方向地层换层快,煤层产状和埋藏深度变化大,因而按这个方向编制的勘探线剖面能正确反映实际构造形态。勘探线尽量布置成直线,勘探钻孔原则上要布置在勘探线上,要尽量利用已有的实测剖面、探槽剖面和地面物探测线等,以利于各种资料的相互验证和综合利用。

**勘探线种类** 根据用途和施工目的不同,勘探线分为基本勘探线、主导勘探线和加密勘探线。

**基本勘探线** 根据勘探区地质特征,为全面揭露和控制勘探区地质情况而布置的勘探线。

基本勘探线是根据勘探区不同的地质构造复杂程度和煤层稳定程度(不同的构造类别和煤层型别),按规定规定探明某一级别煤炭储量的相应勘探线距而布置的勘探线。基本勘探线在主导勘探线的基础上进一步布置,一般比较均匀、规则,其目的是查明和控制勘探区的地层、构造、煤层、煤质、水文地质及其它开采技术条件和煤炭储量,满足相应勘探阶段地质任务的要求。

在暴露区或半隐伏区,基本勘探线剖面上的地质界线和产状应用坑探工程或地质观测点控制;主导勘探线剖面则应实测;深部用钻探配合测井控制。在物性条件好,可以开展地面物探(主要是地震勘探)的隐伏区,勘探线剖面必须采用地面物探和钻探,并配合测井进行综合研究解释。物性条件不好,不宜开展地面物探的隐伏区,则主要通过钻探配合测井,控制和研究勘探线剖面。

**主导勘探线** 在煤田地质勘探初期,为对勘探区地质情况进行重点解剖和控制而布置的起骨干作用的勘探线。

主导勘探线一般在勘探初期专门布置,也可从基本勘探线中选取,其数量视勘探区的大小和地质条件复杂程度而定,一般选一至数条不等。主导勘探线一般布置在勘探区中央或设计井筒附近具有代表性的地段。通常,在主导勘探线上布置较密的勘探工程,以揭露完整的含煤岩系剖面和控制勘探区的主要构造形态,为指导基本勘探工程的布置与施工提供依据。

**加密勘探线** 又称辅助勘探线,为进一步查明相邻两基本勘探线之间地质条件的局部变化而增补的短勘探线。

加密勘探线主要用来进一步查明勘探区内的局部地质异常,包括岩层产状的急剧变化,煤层隐伏露头位置,煤层变薄、分岔、尖灭以及控制煤层可采边界、断层延展、火成岩的分布等。这类勘探线一般较短,且线上的勘探工程亦较少。

**勘探线距** 相邻勘探线之间的距离。勘探线距与勘探阶段和勘探类型有关。影响勘探线距的主要地质因素是勘探区地质构造复杂程度和煤层稳定程度。通常,构造简单、煤层稳定的勘探区,勘探线距较大;构造复杂、煤层不稳定的勘探区,勘探线距就小。《煤炭资源地质勘探规范》中,分别规定了不同勘探阶段探明各级储量所要求采用的勘探线距。

**勘探网** 勘探工程布置在两组不同方向勘探线的交点上,构成网状布置形式。

勘探网适用于地形条件较简单,煤层产状水平、近似水平或地质构造方向性不明显的波状褶皱地区。勘探网采用均匀、等距布置的原则,便于编制不同方向的勘探线剖面,其目的是为了控制煤层厚度、结构,对比和圈定煤层可采边界。

**种类** 勘探网按形态可分为正方形网、矩形网、菱形网等种类。

**正方形网** 勘探工程均匀、等距地布置在两组正交勘探线的交点上,构成正方形的布置形式。

正方形网适用于煤层产状水平或近似水平,且煤层厚度变化无明显方向性的地区。正方形网既可以编制两组相互垂直的勘探线剖面,又可以沿对角线方向编制两组辅助剖面,便于控制四个方向的地质变化。

**矩形网** 勘探网的短边方向与岩层倾向或煤层变化最大的方向一致,长边方向与其垂直,构成矩形的布置形式。

矩形网适用于煤层产状平缓或煤层沿某个方向变化较大的地区。煤田地质勘探实践证明,在勘探初期,为控制勘探区的基本地质情况,采用均匀的勘探网布置形式;但到勘探后期,为进一步查明和加确地质构造和煤层的局部变化应布置加密工程,使均匀的勘探网系统遭破坏而形成不均匀的勘探线系统。因此,在煤田勘探中矩形网用得较少。

**菱形网** 由正方形网或矩形网演变而来,在平面上勘探工程呈均匀的三角形排列,便于编制2~4组相互交叉的勘探线剖面。从理论上讲,勘探工程等距的三角形排列,控制面积最大;但煤田地质勘探实践中这种布置较难形成,因此,用得也较少。

勘探工程按目的和要求的不同,分为基本勘探工程和加密勘探工程两种。

**基本勘探工程** 根据勘探区的地质特征和本勘探阶段的地质任务,为揭露和控制全区基本地质情况而布置的勘探工程。

基本勘探工程包括在本勘探阶段中所使用的各种勘探工程,如钻探、物探、坑探、采样等。钻孔一般均应布置在基本勘探线(含主导勘探线)上,按孔距小于线距的原则,结合地质特征和控制深度要求进行布置。地面物探的主测线以及地面主干槽等,均属于基本勘探工程。在勘探设计中,基本勘探工程的位置、日期、目的、任务、技术要求、施工顺序等,均应分别予以确定。

**加密勘探工程** 在基本勘探工程施工的基础上,为解决基本勘探工程没有完全查明和控制的某些局部

地质问题以及新发现的问题而布置的勘探工程。

加密勘探工程一般在详查和精查勘探后期才使用,找煤和普查阶段一般不用。

加密勘探工程的主要任务是解决勘探区内一些专门性的地质问题,包括①加确断层的产状和延伸方向;②控制煤层厚度及煤质变化的界限;③圈定煤层可采边界线;④控制煤层底板等高线;⑤作为矿井设计和建设中特定的勘探工程。加密勘探工程的布置根据实际需要而不受基本线距的限制,既可以布置成加密勘探线,也可以单独进行布置。

(毛节华)

## kantan jieduan

**勘探阶段** (exploration stage) 又称勘探程序,根据地质工作具有探索性的特点和煤田地质勘探与煤炭工业基本建设程序相适应的原则而划分的地质勘探顺序,通常划分为找煤、普查、详查和精查四个阶段。

煤田地质勘探过程,就是运用各种勘探手段和方法,对客观地质体、煤炭资源情况进行调查研究和逐步认识的过程,体现了人们对客观地质规律认识上的阶段性。划分勘探阶段的目的是为了满足煤炭工业生产的需要。各阶段的目的、任务和工作程度要求,必须与煤炭工业基本建设程序紧密结合。

**找煤** 在煤田预测或区域地质调查的基础上进行,其主要任务是寻找煤炭资源,并对工作地区有无进一步工作价值作出评价。

**普查** 在找煤的基础上或在已知有勘探价值的地区进行,其主要任务是对工作地区有无开发建设的价值作出评价,为煤炭工业的远景规划和下一阶段的勘探工作提供必要的资料。

**详查** 在普查的基础上,根据煤炭工业规划的需要,选择资源条件较好、开发比较有利的地区进行,其主要任务是为矿区建设开发总体设计提供地质资料,其成果要保证矿区规模、井田划分不致因地质情况不准而发生重大变化,并要对影响矿区开发的水文地质条件和其它开采技术条件作出评价。

**精查** 一般在矿区建设开发总体设计的基础上进行,其主要任务是为矿山初步设计提供地质资料,其成果要满足选择井筒、水平运输巷、总回风巷的位置和划分首采区的需要,保证井田境界和矿井设计能力不致因地质情况不准而发生重大变化,保证不致因煤质资料不准而影响煤的既定工业用途。

煤田地质勘探一般应按找煤、普查、详查和精查四个阶段循序进行,并提交相应阶段的地质报告。在下述

条件下,根据资源条件和开发建设的需要,勘探程序可以简化。

(1)有进一步工作价值的找煤区,在普查工作范围与原工作范围没有大的变动,并且接续施工时,可以从找煤直接进入普查,不提交找煤报告。

(2)煤炭资源比较丰富,有可能形成相当规模矿区的普查区,其详查工作范围与普查区无大变动,且接续施工时,可以从普查直接进入详查,不提交普查地质报告。

(3)煤炭资源条件较好,煤层比较稳定,构造不太复杂的暴露煤田,可以在大比例尺地质填图的基础上,直接进入普查或详查,提交普查或详查地质报告。

(4)不需做矿区总体设计的地区及面积不大的孤立井田(地段),可以从普查直接进入精查,提交精查地质报告。若地质条件复杂,虽进行较详细的地质勘探工作也不能提交精查报告时,则提交详查最终(简称详终)或普查最终(简称普终)地质报告。

(5)老矿区的深部、生产矿井之间以及煤产地等不涉及井田划分的地区,可一次勘探完毕。

中国煤田地质勘探阶段的划分曾有一些变化。

(1)建国初期,基本上是在引用苏联《规范》中划分的普查、勘探两个阶段的基础上演变而成。1958年以前,将普查阶段的前一部分工作称为找矿或概查,后一部分工作仍称普查;勘探阶段则进一步划分为详查(初步勘探)和精查(详细勘探)。

(2)1961年4月,地质部和煤炭工业部联合颁发《煤矿储量分类暂行规范》,把煤田地质勘探程序划分为普查和勘探两个阶段。普查要求提出 $C_2$ 级储量,在可能和需要的条件下,求出适量的 $C_1$ 级储量,并提出工作区内煤田远景评价,作为勘探设计的依据。勘探应提交工业储量,作为煤矿企业设计和投资的依据。

(3)1962年9月,煤炭工业部制定《煤炭工业基本建设程序暂行规定》,把煤田地质勘探分为普查、详查和精查三个阶段。普查工作有时还可分作普查找矿与普查勘探两个阶段分别进行,须获得 $C_1 + C_2$ 级储量。普查地质报告是划分矿区和安排远景计划的依据。详查是根据大面积普查结果,按矿区范围进行的煤田初步勘探,须获得 $B + C_1$ 级储量。详查地质报告是编制矿区总体设计的依据。精查是根据详查勘探结果和矿区总体设计(或方案)中的井田划分意见,分井田进行的详细勘探,须获得 $A_2 + B + C_1$ 级储量。精查地质报告是编制矿井(露天矿)初步设计的依据。

(4)1965年4月,煤炭工业部颁发《勘探方法的十五条技术原则》,将煤田地质勘探划分为煤田普查、矿区详查和井田精查三个阶段。普查是发现和初步评

价煤炭资源的阶段,其结果要能对煤矿建设的远景规划和矿区划分提供必要的资源依据。普查阶段根据需要可以分作普查找煤和普查勘探两步走。详查应根据普查工作的结果,选择煤炭资源条件较好,开发条件有利的地区,对煤炭资源作进一步的了解。详查的结果要能为矿区的总体设计提供基本的地质资料。精查工作在详查工作和设计部门已经划分井田的基础上,紧密结合建设施工顺序,按井田进行。精查的结果要能为矿井设计提供地质依据。

(5)1972年11月,燃料化学工业部组织起草《煤炭地质勘探规范(讨论稿)》,将煤田地质勘探划分为煤田普查、矿区详查和井田精查三个阶段。

(6)煤炭工业部于1977年组织起草、1980年颁布试行的《煤炭资源地质勘探规范》,把煤炭资源地质勘探程序划分为找煤、普查、详查和精查四个阶段。该《规范》于1986年由全国矿产储量委员会批准,正式颁布施行。

(7)1987年3月,全国矿产储量委员会、国家计划委员会、国家经济委员会联合颁布了《矿产勘查工作阶段划分的暂行规定》,将固体矿产各矿种的勘查工作,统一划分为普查、详查、勘探三个阶段。普查是对已发现的矿点和地质、物化探等异常地区进行工作,查明是否有进一步工作价值,为是否进行详查阶段工作提供依据。详查是对经普查证实具有进一步工作价值的矿床,做出是否具有工业价值的评价,为决策是否进行勘探提供依据,并供矿山总体规划和作矿山项目建议书使用。勘探是对经详查证实具有工业价值,并拟近期开采利用的矿床进行勘探,提交勘探报告,作为矿山建设可行性研究和设计的依据。

(8)经煤炭工业部与全国矿产储量委员会协调商定,煤田地质勘探阶段原则上按《暂行规定》执行,划分为普查、详查、勘探三个阶段,其中普查进一步分为找煤和普查两个亚段;勘探包含精查、详终和普终三种情况。各阶段的目的、任务、工作程度要求,仍按《煤炭资源地质勘探规范》执行。对于勘探所对应的不同情况,1989年8月,煤炭工业部地质局确定采用“勘探(精查)”、“勘探(详终)”、“勘探(普终)”的方式予以区别(下页表)。

由于各国社会经济和煤炭资源状况的不同,煤田勘探阶段的划分也有相当大的差异。前苏联和东欧一些国家对矿产资源勘查阶段的划分比较重视,而西方一些主要矿产开发国家在进行资源勘查工作时,虽也有一定阶段或程序,但强调因时因地制宜,具体作法比较灵活。

(1)1984年,前苏联将矿产勘查分为六个阶段,



矿产勘查阶段划分大致对照表

| 《暂行规定》划分 | 《煤炭资源地质勘探规范》划分 |
|----------|----------------|
| 普查       | 预查             |
| 详查       | 普查             |
| 勘探       | 详查             |

即①区域地质测量；②矿产普查；③初步勘探；④详细勘探；⑤补充勘探；⑥开发勘探。1984年后，又将矿产勘查阶段改为八分，即①国土的区域地质研究；②一般的区域地质测量；③普查找矿（初步普查）；④普查评价（详细普查）；⑤初步勘探；⑥详细勘探；⑦补充勘探；⑧开发勘探。

(2) 1983年，美国把矿产勘查划分为五个阶段，即①区域地质调查；②普查找矿；③初步勘探；④详细勘探；⑤就矿探矿。

(3) 1972年，英国把煤炭资源勘查划分为四个阶段，即①圈定勘探区域；②区域勘探；③详细勘探；④盘区勘探。

(4) 1968年，澳大利亚矿产勘查阶段三分，即①区域勘探；②评价勘探；③设计勘探。

(5) 1959年，联邦德国矿产勘查阶段三分，即①初查阶段；②详查阶段；③勘探阶段。

(6) 1970年，南非矿产勘探阶段四分，即①区域普查；②初步勘探；③详细勘探；④最终勘探。

(毛节华)

kantan leixing

**勘探类型** (exploration type) 根据影响煤田地质勘探难易程度的主要地质因素（地质构造复杂程度和煤层稳定程度）的不同，结合煤田的成因特征和以往的煤田地质勘探经验，对矿区（或井田）进行的一种分类。勘探类型集中反映了不同勘探地质条件下煤田地质勘探方法的特点，同时也反映了不同历史时期对煤田勘探的技术经济政策和经验的总结。划分勘探类型的目的，是为了更好地运用地质规律，指导煤田地质勘探实践，选择正确的勘探方法，确定合理的勘探网密度，合理选择各种勘探手段，合理部署勘探工程，经济地查明地质情况和开采技术条件，获得各级煤炭储量，为煤矿设计和生产建设提供必须的地质资料。

**分类指标与分类方案** 影响勘探类型划分的因素很多，如矿区（或井田）的地质构造复杂程度，煤层稳定程度，掩盖程度，地质地球物理条件，地貌条件，水

文地质、工程地质条件，勘探难易程度，开拓方式以及自然技术经济条件等。其中，最主要地质因素是地质构造复杂程度和煤层稳定程度这两个指标。

《煤炭资源地质勘探规范》中对勘探类型采用了单项因素相对分类法，按照矿区（或井田）地质构造的复杂程度划分为三类（或四类），按照煤层的稳定程度划分为三型（或四型）。

**构造类别** 根据地质构造的形态、断层和褶曲的发育情况以及火成岩的影响程度，矿区（或井田）的地质构造复杂程度划分为简单构造、中等构造、复杂构造和极复杂构造四类。

**简单构造** 含煤岩系沿走向、倾向的产状变化不大，断层稀少，没有或很少受火成岩的影响。主要包括①产状接近水平，很少有缓波状起伏；②缓倾斜至倾斜的简单单斜、向斜或背斜；③为数不多和方向单一的宽缓褶皱。

**中等构造** 含煤岩系沿走向、倾向的产状有一定变化，断层较发育，有时局部受火成岩的一定影响。主要包括①产状平缓，沿走向和倾向均发育宽缓褶皱，或伴有一定数量的断层；②简单的单斜、向斜或背斜，伴有较多断层，或局部有小规模的褶曲或倒转；③急倾斜或倒转的单斜、向斜或背斜，或为形态简单的褶皱，伴有稀少断层。

**复杂构造** 含煤岩系沿走向、倾向的产状变化很大，断层发育，有时受火成岩的严重影响。主要包括①受几组断层严重破坏的断块构造；②在单斜、向斜或背斜的基础上，次一级褶曲和断层均很发育；③紧密褶皱，伴有一定数量的断层。

**极复杂构造** 含煤岩系的产状变化极大，断层极发育，有时受火成岩的严重破坏。主要包括①紧密褶皱、断层密集；②形态复杂特殊的褶皱，断层发育；③断层发育，受火成岩的严重破坏。

**煤层类型** 根据煤层的厚度、结构及其变化情况和煤层的可采性，矿区（或井田）的煤层稳定程度划分为稳定煤层、较稳定煤层、不稳定煤层和极不稳定煤层四型。

**稳定煤层** 煤层厚度变化很小，变化规律明显，结构简单至较简单，全区可采或基本全区可采。

**较稳定煤层** 煤层厚度有一定变化，但规律性较明显，结构简单至复杂，全区可采或大部分可采，可采范围内厚度变化不大。

**不稳定煤层** 煤层厚度变化较大，无明显规律，结构复杂至极复杂。主要包括①煤层厚度变化很大，具突然增厚、变薄现象，全区可采或大部分可采；②煤层呈串珠状、藕节状，一般连续，局部可采，可采边界线不

规则;③难以进行分层对比,但可进行层组对比的复煤层。

**极不稳定煤层** 煤层厚度变化极大,呈透镜状、鸡窝状,一般不连续,很难找出规律,可采块段分布零星,或为无法进行分层对比,且层组对比也有困难的复煤层。

《煤炭资源地质勘探规范》规定了对不同构造类别和不同煤层型别探测各级煤炭储量相应的钻探工程基本线距(表1、表2)。

表1 构造类别钻探工程基本线距表

| 构造复杂程度 | 可能满足各级储量对构造控制要求的基本线距 (m) |           |           |
|--------|--------------------------|-----------|-----------|
|        | A                        | B         | C         |
| 第一类 简单 | 750~1000                 | 1500~2000 | 3000~4000 |
| 第二类 中等 | 375~500                  | 750~1000  | 1500~2000 |
| 第三类 复杂 |                          | 250~375   | 250~500   |

表2 煤层型别钻探工程基本线距表

| 煤层稳定程度  | 可能满足各级储量对煤层控制要求的基本线距 (m) |           |           |
|---------|--------------------------|-----------|-----------|
|         | A                        | B         | C         |
| 第一型 稳定  | 750~1000                 | 1500~2000 | 3000~4000 |
| 第二型 较稳定 | 375~500                  | 750~1000  | 1500~2000 |
| 第三型 不稳定 | 250*                     | 500*      | 1000*     |
|         |                          | 250       | 250~500   |

\* 只适用于第三型中的第一种情况。

**发展简史** 勘探类型源于苏联。1939年,苏联科学院技术科学部矿业小组把苏联煤田及煤产地划分成五类:第一类 顿涅茨煤田;第二类 库兹涅茨克煤田;第三类 莫斯科近郊煤田;第四类 车里雅宾斯克煤田;第五类 苏昌煤田,并推荐了各类煤田在初步勘探和详细勘探时的勘探网密度。

1947年,苏联地质部在所制定的《煤与油页岩储量分类规范》中,对勘探类型分类的地质标志和开采条件作了进一步的修改和补充,把苏联煤田划分为五个勘探类型:第Ⅰ类 莫斯科近郊类型;第Ⅱ类 顿巴斯类型,包括顿涅茨亚类和卡拉干达亚类;第Ⅲ类 库兹涅茨克类型;第Ⅳ类 车里雅宾斯克类型;第Ⅴ类 苏昌类型,并详细规定了各类型煤田探明各级煤炭储量相应的勘探网密度与允许外推和内插的距离。

1954年,苏联地质部全苏矿产储量委员会进一步修订了煤田地质勘探规范,首次提出用地质构造复杂程度和煤层稳定性作为勘探类型分类指标。根据地地质构造复杂程度将煤田分为三类,根据煤层稳定性将煤层分为三型,简称“三类九型”,并规定了每一类型煤田探求各级煤炭储量相应的勘探线距(表3)。

表3 1954年苏联煤田勘探类型划分表

| 煤田类型  | 勘探工程和勘探线距 (m)    |                  |
|---|------------------|------------------|
|   | A <sub>1</sub> 级 | B <sub>1</sub> 级 |
| 第一类 产状水平或平缓的煤田(莫斯科近郊、顿巴斯—阿波斯、伊尔库茨克、库马托尔、库兹涅茨等煤田)        |                  |                  |
| 稳定煤层型   | 150              | 700              |
| 较稳定煤层型  | 250              | 1000             |
| 不稳定煤层型  | 175              | 300              |
| 第二类 简单褶皱构造的煤田(顿巴斯南部的西顿、西沃夫、顿巴斯、库兹涅茨、莫斯科近郊、卡拉干达、库兹涅茨等煤田) |                  |                  |
| 稳定煤层型   | 1000             | 1000             |
| 较稳定煤层型  | 500              | 1000             |
| 不稳定煤层型  | 250              | 300              |
| 第三类 具有复杂褶皱和断裂的煤田(库兹涅茨、顿巴斯南部的库兹涅茨、库兹涅茨、库兹涅茨、库兹涅茨等煤田)     |                  |                  |
| 稳定煤层型   | 250              | 300              |
| 较稳定煤层型  | 125              | 150              |
| 不稳定煤层型  | 125              | 125              |

随后,苏联于1961年、1968年、1981年又对煤田勘探类型作了多次的补充和修正,并逐步加密了探明各级煤炭储量的勘探网密度。

欧美各主要产煤国家的煤田勘探工作一般缺少全国性的统一标准,勘探与开采结合密切,作法也较灵活。美国采矿工程师学会在1973年出版的《采矿工程手册》中,按照美国的勘探经验总结出各类煤田的勘探工程间距的近似距离。其划分煤田勘探类型的标志也是构造复杂程度和煤层稳定性,构造分为三类,煤层分为三型,并对每一类型煤田控制不同储量级别的勘探工程间距均作了具体的规定(表4)。

中国煤矿勘探类型的划分,在建国初期主要是参照苏联1947年和1954年的《规范》。1958年以后,在总结本国煤田勘探经验的基础上,认为苏联第一类煤



表4 美国煤田勘探工程间距 (1973年)

| 煤田类型         | 间距* (m) |      |
|--------------|---------|------|
|              | 基岩储量    | 导出储量 |
| 低产或煤质差的煤田    |         |      |
| A. 均匀煤田      | 1000    | 2000 |
| B. 稍不稳定煤田    | 750     | 1500 |
| C. 不稳定煤田     | 500     | 1000 |
| 简单地质构造       |         |      |
| A. 均匀煤田      | 3000    | 6000 |
| B. 稍不稳定煤田    | 1500    | 3000 |
| C. 不稳定煤田     | 750     | 1500 |
| 复杂地质构造与断层的煤田 |         |      |
| A. 均匀煤田      | 750     | 1500 |
| B. 稍不稳定煤田    | 500     | 750  |
| C. 不稳定煤田     | 边采边探    |      |

\* 用于低产煤田指间距, 即对丰产煤田指勘探线间距。

田与中国情况不同, 可以放宽勘探间距。1959年, 全国矿产储量委员会制定并颁发了《矿产储量分类暂行规范(总则)》。1961年, 全国矿产储量委员会制定, 由地质部和煤炭工业部联合颁发了《矿产储量分类规范(暂行)》第二辑“煤”, 该《规范》根据地质构造复杂程度和煤层稳定程度, 把中国煤矿勘探类型划分成“三类九型”, 并附有典型矿区实例, 以便类比(表5)。

1965年, 中国煤炭工业部颁发了《地质工作若干技术规定》, 包括“勘探方法十五条技术原则”和“精

表5 中国煤矿勘探类型  
和勘探网密度划分表 (1961年)

| 勘探类型         |        | 探明各级储量所用的<br>勘探线间距 (m) |                |                |
|--------------|--------|------------------------|----------------|----------------|
| 地质构造<br>复杂程度 | 煤层稳定程度 | A <sub>2</sub>         | B              | C <sub>1</sub> |
| 第一类<br>构造简单  | 煤层稳定型  | 750 或 1000             | 1500 或<br>2000 | 3000 或<br>4000 |
|              | 煤层较稳定型 | 500 或 750              | 1000 或<br>1500 | 2000 或<br>3000 |
|              | 煤层不稳定型 | 250 或 375              | 500 或<br>750   | 1000 或<br>1500 |
| 第二类<br>构造中等  | 煤层稳定型  | 500 或 750              | 1000 或<br>1500 | 2000 或<br>3000 |
|              | 煤层较稳定型 | 250 或 375              | 500 或<br>750   | 1000 或<br>1500 |
|              | 煤层不稳定型 | —                      | 250            | 500            |

续表

| 勘探类型         |        | 探明各级储量所用的<br>勘探线间距 (m) |     |                |
|--------------|--------|------------------------|-----|----------------|
| 地质构造<br>复杂程度 | 煤层稳定程度 | A <sub>2</sub>         | B   | C <sub>1</sub> |
| 第三类<br>构造复杂  | 煤层稳定型  | 250                    | 500 | 1000           |
|              | 煤层较稳定型 | —                      | 250 | 500            |
|              | 煤层不稳定型 | —                      | —   | 250            |

查勘探程度的质量标准”两个文件, 废除了煤田勘探中的“三类九型”。在详、精查阶段, 特别是勘探后期, 勘探工程布置遵循“三哪”和“十六个字”的原则。“三哪”, 即在详细分析资料, 摸清地质特点、吃透设计意图的前提下, “哪里有问题, 哪里有需要, 就往哪里打钻”, 该稀就稀, 该密就密。“十六个字”, 即“单项分析, 区别对待, 综合研究, 统一定孔”。

1972年, 中国全国计划会议提出要建立各项工作的规章制度, 原燃料化学工业部于1975年重新制定并颁发了《煤田地质勘探规范(讨论稿)》, 其基本方案与1961年的分类法相近(表6)。

表6 中国煤矿勘探类型划分表 (1975年)

| 勘探类型         |        | 探明各级储量所用的<br>勘探线间距 (m) |           |           |
|--------------|--------|------------------------|-----------|-----------|
| 地质构造<br>复杂程度 | 煤层稳定程度 | A                      | B         | C         |
| 第一类<br>构造简单  | 煤层稳定型  | 750~1000               | 1500~2000 | 3000~4000 |
|              | 煤层较稳定型 | 500~750                | 1000~1500 | 2000~3000 |
|              | 煤层不稳定型 | 375~500                | 750~1000  | 1500~2000 |
| 第二类<br>构造中等  | 煤层稳定型  | 500~750                | 1000~1500 | 2000~3000 |
|              | 煤层较稳定型 | 250~500                | 500~1000  | 1000~2000 |
|              | 煤层不稳定型 | —                      | 250±      | 500±      |
| 第三类<br>构造复杂  | 煤层稳定型  | 250±                   | 500±      | 1000±     |
|              | 煤层较稳定型 | —                      | 250±      | 500±      |
|              | 煤层不稳定型 | —                      | —         | 250±      |

1977年, 中国煤炭工业部地质局在总结中国煤炭资源地质勘探、煤矿设计和生产建设经验的基础上, 制定了《煤炭资源地质勘探规范(试行稿)》, 并于1980年由煤炭工业部正式颁布试行。其后, 全国矿产储量委员会会同煤炭工业部、地质矿产部等单位, 对《规范

(试行)》稿进行了修改补充,于1986年经全国矿产储量委员会审核批准,正式颁布施行。该《规范》对煤矿勘探类型采用了单项因素相对分类法,按地质构造复杂程度和煤层稳定程度分别划分了类和型,并规定了探测各级煤炭储量相应的钻探工程基本线距。在一个矿区(或井田)范围内,则按其勘探难度较大的一个因素选择钻探工程的基本线距。

**发展趋势** 当前的勘探类型,是以影响基本勘探工程布置和勘探网密度的地质构造复杂程度和煤层稳定程度这两个主要地质因素为依据,以定性描述和经验类比为基础,以钻探工程为单一的勘探手段的条件下划分的,实际上是一种“网度类型”。随着采掘机械化程度的不断提高和新的勘探方法、勘探技术的广泛应用,今后勘探类型总的发展趋势是:在分类指标上从定性描述向定量统计方向发展;在勘探手段上从单一的钻探工程向综合勘探手段方向发展,特别是加强地震勘探的应用;在勘探工程布置系统上,从均匀的勘探线和勘探网系统向不均匀的复合勘探系统方向发展;在研究内容上,从单纯的“类型—网度—储量”向指导整个煤田勘探系统和计算机模拟方向发展。

#### 参考书目

陶长晖,徐榜荣,史振亚,周凯声,许友志,《煤田普查与勘探》,中国矿业大学出版社,1988。

K. B. Миронов, Разведка и геолого-промышленная оценка угольных месторождений. М., Недра, 1977.

(许友志)

kantan sheji

**勘探设计** (exploration design) 实现煤田地质勘探工作目的与任务的总体部署和实施方案。它要解决本次勘探主要研究什么和如何进行本次勘探这两个问题,并指明预期成果。

煤田地质勘探各阶段的勘探项目,都须按勘探设计施工。勘探设计由承担勘探任务的地质队负责编制,并由地质队的上级单位审批。重要的勘探项目要先编制勘探方案,经地质勘探主管部门审批后,再按批准的勘探方案编制勘探设计。

**勘探设计内容** 编制勘探设计,一般以1983年由煤炭工业部地质局印发的《煤田地质勘探设计编制提纲(试行)》为依据。《提纲》规定,勘探设计由文字说明、附图、附表等三部分组成。

**文字说明** 包括目的与任务,勘探区概况,勘探区地质、水文地质及开采技术条件,地质任务,勘探方法,勘探工程布置及要求,储量预算,技术组织措施等几部分。

(1)目的与任务。说明本次勘探任务的由来和编制设计的依据,如上级的指令、煤矿开发建设的要求或有关合同等。

(2)勘探区概况。叙述勘探区的位置、范围、周界、面积、自然地理条件、交通状况、以往进行过的地质工作等。

(3)勘探区地质。根据已有的地质资料,说明勘探区地层层序、含煤岩系、煤层、煤质;勘探区构造轮廓和褶曲、断层、火成岩及其它有益矿产情况;井田水文地质特征;煤层顶、底板特征;瓦斯、煤尘、地温等情况。

(4)地质任务。以简洁的文字,说明本次勘探要达到的勘探研究程度。一般按照本勘探区的实际情况,将《煤炭资源地质勘探规范》对各勘探阶段的工作程度要求具体化,并以此作为考核验收本次勘探成果的主要依据。

(5)勘探方法。说明为完成本次勘探任务所采用的勘探方法,勘探手段的选择,勘探工程布置原则;各种勘探工程的具体目的、位置、数量、质量要求、施工顺序及相互配合等。

(6)储量预算。对本次勘探预期获得储量和各储量级别的比例进行预算,并说明按设计部署进行的勘探工作所预期达到的程度。

(7)技术组织措施。说明本次勘探的技术措施和组织措施,包括人员组成、技术装备、主要施工工艺、质量保证措施等。

**附图** 主要包括勘探区地形地质图、地层(或含煤岩系)综合柱状图、勘探工程布置图、勘探线预想剖面图、主要煤层底板等高线及储量预算图等。各种附图的比例尺,与相应阶段地质报告图件的要求比例尺相同。

**附表** 主要包括设计勘探工程量一览表、各种采样及分析测试项目分布表、储量预算表等。

煤炭工业部1988年4月印发的《煤田地质勘探项目管理暂行规定》中规定,勘探项目设计由地质设计、施工设计、设计预算等三部分组成。

地质勘探工作是探索性的工作,勘探设计的地质依据往往带有预测和推断的性质,具有很大的探索性,在执行过程中,随着客观情况的变化需进行及时的调整和修改。

**勘探设计步骤** 包括搜集资料、领会意图、野外踏勘、编制设计等四个环节。

(1)搜集资料。搜集区域地质调查资料、勘探区以往地质填图、地面物探、地质遥感、钻探、测试、测绘等勘探工作成果,以及本区或邻区生产矿井地质资料,



进行认真分析和系统研究,编制有关图表,建立起对勘探区地质特征和已有工作程度的完整概念。

(2) 领会意图。研究领会上级及有关部门对本次勘探工作的指示和要求,包括勘探范围、勘探方法原则、工作程度要求、主要技术经济指标、地质报告提交时间、勘探工作量和勘探经费的控制数字等;煤矿设计部门的要求、矿井设计方案(包括井型、井筒位置、开拓方式、生产水平划分、主要运输大巷和主回风巷位置、第一水平和首采区范围及各级储量比例要求)以及在勘探中对矿井开发有影响的其它地质问题的研究要求等,以便有针对性地进行勘探工作。

(3) 野外踏勘。熟悉勘探区地形地貌、交通条件。在掩盖区,要有针对性地查看几个钻孔的岩心;在裸露区,要穿越几条代表性地质剖面,以便了解勘探区地质特征。编制暴露和半暴露地区的详查、精查勘探设计,需以相应比例尺的地形地质图为基础。无符合要求的地形地质图,需提前安排地形测绘和地质填图工作。

(4) 编制设计。从勘探区的实际情况出发,根据本次勘探的地质任务,按照“重点突出,有的放矢,一孔多用和充分发挥各种勘探手段长处”的原则,选择勘探技术手段,布置各项勘探工程,进行多方案对比研究,经过论证,采用最佳方案作为编制勘探设计的依据,力求以较少的投资和较短的时间,取得最佳地质成果,做到技术经济合理(见勘探工程布置)。

(毛节华)

kantan shouduan

**勘探手段** (exploration means) 又称勘探技术手段,为揭露和研究矿区、井田地质条件和开采技术条件所采用的各种工程和技术方法。主要有遥感技术、地质填图、坑探工程、钻探工程、地球物理勘探等。

**遥感地质** 又称地质遥感,综合运用现代遥感技术,探查、研究地质规律,进行地质调查和资源勘探的一种方法。它以各种地质体对电磁辐射的不同反应为基本依据,结合其它地质资料,分析研究地表显露的各种岩石及其分布,构造形态特征和相互关系,了解地表以下一定深度内的地质构造特征,在煤田地质勘探中,它主要用于区域性构造研究和寻找隐伏煤田。在一定条件下,它对查找浅层地下水的富水带和地下径流带也有明显的效果(见遥感技术)。

**地质填图** 又称地质测量,运用地质学的理论和方法,通过对地层自然露头和人工地质点进行观测研究,并按一定比例尺的精度要求,用各种不同的符号、线条、颜色,把地层、煤层、标志层、构造线和火成岩等的分布及相互关系填绘(测绘)到图上,编制成各种

地质图件的综合性工作。地质填图是煤田地质勘探的基础工作,暴露和半暴露煤田,都先进行地质填图工作。

地质填图比例尺的大小,反映地质研究程度和地质图的精度。《煤炭资源地质勘探规范》规定,找煤阶段地质填图的比例尺为1:50000或1:25000,普查和详查阶段为1:25000或1:10000,精查阶段为1:10000或1:5000。

地质填图工作中,通常以探槽、探井或浅钻,对局部的表土掩盖地层进行揭露,或采用地面电法对地层界线、煤层露头线和主要构造线进行控制,以保证地质填图的精度符合有关规定的要求。现已普遍采用航片地质填图,即利用航空摄影相片,先通过室内解译和一定的地面检查验证,再进行室内整理成图,编制成地质图件。航片地质填图工作效率高,划分地层、解释构造比常规方法有明显的优势,有利于提高地质图的精度。

**坑探工程** 为揭露地质现象和煤层,从地表或地下挖掘的各种小断面坑道,包括探槽、探井、探巷,以及小煤窑清理等。除探巷主要用于勘探阶段外,其余坑探工程主要在区域地质调查、找煤、普查阶段配合地质填图使用。

**探槽** 为揭露稍被表土覆盖的含煤岩系或煤层、断层,按设计在地表挖掘的沟槽。探槽一般沿岩层倾向布置,其断面一般呈倒梯形,槽底宽度为0.6m,一般要求槽底深入基岩0.3m左右,最大深度不超过3m。

**探井** 为了解煤层情况及采取煤样,从地表向下挖掘的深度和断面都不大的垂直小井。其断面形状有矩形、圆形或方形,断面面积一般为1~2m<sup>2</sup>,深度通常为5~20m。

**探巷** 为揭露含煤岩系,了解煤层厚度和结构,确定煤层风氧化带的深度并在风氧化带以下采取煤样而开掘的巷道。探巷根据需要可垂直煤层走向或平行煤层走向掘进,可为立井、斜井、平巷、平硐或石门。

**钻探工程** 使用最广泛的勘探手段。煤田地质勘探的各阶段,都要使用钻探工程,以观察和研究深部地质现象及采取各种样品。钻探一般以打直孔为主,当地层倾角很大或有特殊需要时,也采用斜孔,甚至应用定向斜孔技术。钻孔孔径,根据钻孔地质任务,特别是各种样品采取及各种专门性试验的需要确定。

勘探钻孔以取心钻进为主,在找煤和普查阶段,钻孔一般应全部取心钻进;详查和精查阶段,可根据具体情况适当采用无岩心钻进,以提高钻进速度。

勘探钻孔都有明确的地质目的和要求,严格按勘探设计和有关规程的规定施工,其质量应符合有关标准和规定。

**煤田地球物理勘探** 简称煤田物探,是煤田地质勘探中必须采用的先进技术之一。物探分为地面物探和地下物探。地面物探包括重力法、磁法、电法、地震法等,其中最重要的是地震法和电法;地下物探包括矿井地球物理勘探(简称矿井物探)和地球物理测井(简称测井)。

在煤田地质勘探中,使用地面物探,特别是地震,可以了解覆盖层厚度,含煤岩系和主要煤层的分布范围、深度,构造形态和断层与褶曲位置、性质、规模,也可用来追索煤层露头 and 断层,探测水文地质条件,圈定老窑采空区及岩溶、火成岩的分布范围。

使用地面物探要具备一定的条件。《煤炭资源地质勘探规范》要求,在物性条件较好的隐伏区,要充分发挥地面物探的作用,结合钻探、测井和其它勘探手段,完成各项地质任务。

测井是煤田地质勘探中使用较早的一种物探方法。起初只是单纯用它对钻探进行检查验证,现已发展成为一种独立的勘探手段。测井不仅提供煤层深度、厚度和结构数据,而且提供地层柱状剖面,构造、喀斯特和破碎带分布,含水层层位和厚度。现已普遍使用的数字测井技术,通过资料处理,还可以提供钻孔岩石组成、孔隙度、煤的灰分、岩石物理力学性质参数等。测井已成为煤田地质勘探中不可缺少的重要手段。《煤炭资源地质勘探规范》规定,勘探钻孔均应测井。

各种勘探手段的使用条件及所能解决的地质问题各不相同,也都有一定的局限性。在不同地区、不同阶

段进行地质勘探工作,须根据工作地区的具体条件,选择运用有效的勘探手段,按照“先地面,后地下;先物探,后钻探”的原则,加以综合运用,以较少的投入,获得最佳的地质效果。

在暴露区和半隐伏区,首先进行地质填图,详细研究地表地质情况,然后有针对性地进行布孔,并配合测井,对深部地质情况进行揭露和研究。

在隐伏区,主要采用地面物探与钻探、测井相结合的手段,进行综合煤田地质勘探。在不具备地面物探工作条件或地质条件特别复杂、物性条件不好时,则以钻探和测井相结合作为主要勘探手段。

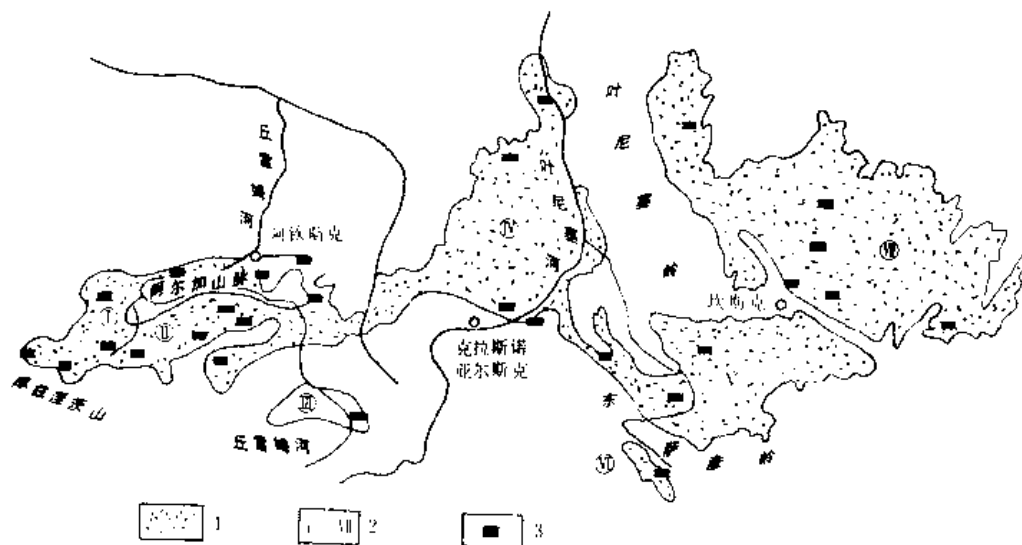
(毛节华)

### Kansk-Achinsk Meitian

#### 坎斯克-阿钦斯克煤田 (Kansk-Achinskiy Coalfield)

俄罗斯探明储量与产量最大的侏罗纪褐煤煤田,大部分位于俄罗斯克拉斯诺亚尔斯克边疆区的南部,沿西西伯利亚铁路延展,西部伸入克麦罗沃州,东部延至伊尔库茨克州,东西长 800km,南北宽 50~250km,面积达 6 万 km<sup>2</sup>。叶尼塞岭和东萨彦岭支脉将煤田划分成几乎相等的东、西两部分:西部为丘雷姆-叶尼塞区,东部为坎斯克区(下图)。

**地质** 在丘雷姆-叶尼塞区,侏罗纪含煤岩系充填于古生代岩层组成的大型孤立的、山前和山间盆地中。盆地的南面和东面被库兹涅茨山、东萨彦岭和叶尼塞岭的支脉所环绕。含煤岩系朝北西方向倾伏在西



坎斯克-阿钦斯克煤田概要图

1—侏罗纪含煤岩系; 2—含煤区; I 伊塔特—博戈托尔, II 纳扎罗沃; III 巴拉赫塔, IV 滨叶尼塞, V 雷宾斯克, VI 萨彦—帕尔蒂扎, VII 阿班; 3—煤产地

(据 K. B. Мирнов, 1982)



西伯利亚地台的较年轻地层底部。在坎斯克区,侏罗纪含煤岩系位于西伯利亚地台西南边缘的孤立的大型拗陷之中,总厚度为200~965m。

在丘雷姆—叶尼塞区,含煤岩系构成宽阔的不对称短轴向斜,其南翼和西南翼平缓( $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ),北翼和西北翼较陡( $30^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ),有些地方岩层产状被小褶皱和断层破坏。在坎斯克区,含煤岩系构成平缓的短轴向斜,其翼部的岩层倾角为 $2^{\circ}\sim 5^{\circ}$ ,轴部的岩层产状呈缓波状,近乎水平。

**含煤性** 坎斯克—阿钦斯克煤田煤层倾角 $2^{\circ}\sim 9^{\circ}$ ;有20个可采层;厚度大部分为6~15m,有的达60~70m,总厚度为120m。在大型负向构造内,中侏罗统上部有平均厚度为25~60m的特厚煤层。在坎斯克区,中侏罗统卡马利林组(Камаринская свита)上部层位的含煤性较高;在纳扎罗沃向斜,该组中含有10层可采煤层,其中、上部厚煤层的平均厚度为13m;在阿班向斜,该组中有两层厚煤层,上层厚23m,下层厚7~10m,下侏罗统含煤性很低,在孤立的萨彦—帕尔蒂扎向斜构造中,含有15层结构复杂、厚度不稳定的煤层(见上图)。

平缓构造翼部适于露天开采,该处厚煤层结构简单,而煤产地的边缘部分则煤层分叉,沿厚煤层露头走向距地表20~40m部位的煤遭受古代火灾破坏。这一火烧带沿走向延伸20km。

**煤质** 坎斯克—阿钦斯克煤田的煤主要为褐煤,其灰分低,为7%~15%;硫分低,为0.3%~0.7%;水分高,一般为33%~40%;固煤性差;低位发热量为11.80~19.05MJ/kg;质地松散,易风化和自燃,不便贮存和运输,只适于就近发电或用于气化和液化。萨彦—帕尔蒂扎煤产地的早侏罗世煤为气煤,灰分中等,为13%~16%;硫分低,<1%;胶质层厚度 $y$ 为9~10mm。

**资源** 坎斯克—阿钦斯克煤田煤资源丰富。600m深度以内的煤炭资源量638Gt, A+B+C<sub>1</sub>级探明储量78.3Gt, C<sub>2</sub>级37Gt,其中硬煤(长焰煤和气煤)资源量4Gt, A+B+C<sub>1</sub>级储量1.3Gt;适于露天开采的资源量143Gt, A+B+C<sub>1</sub>级储量68.4Gt, C<sub>2</sub>级储量24.7Gt。

**开采地质条件** 坎斯克—阿钦斯克煤田煤层开采地质条件优越,煤层产状呈水平和缓倾斜,厚度大,储量丰富,适于露天开采。但水文地质条件复杂,地面沼泽化并有河流穿过,开采前必须预先疏干,侏罗系中有多层有水力联系的含水层,还有含水量大的烧变岩带,预计开段涌水量为1000~2500m<sup>3</sup>/h,露天矿涌水量为2000~6000m<sup>3</sup>/h,1990年剥采比为1.04m<sup>3</sup>/t。剥离

层中含有坚硬砂岩质透镜状包裹体,剥离困难。煤有自燃倾向,远距离运输困难。

**开发概况** 坎斯克—阿钦斯克煤田发现于18世纪,20世纪30年代初开始勘探,第二次世界大战中着手开发。鉴于该煤田地理位置有利,煤资源丰富,20世纪70年代以来加快了开发速度,1992年年生产能力达到50Mt。由于该煤田进行大规模露天开采,吨煤开采成本在俄罗斯各煤田中最低,有可能成为俄罗斯未来的生产固体燃料、液体合成燃料、气体和化工产品的巨大原料基地。

(李濂清)

kengdao zuan'an

**坑道钻探** (underground drilling) 又称地下钻探,在矿井的巷道或硐室内进行的钻探。在煤炭工业中,其主要任务是,①在补充勘探或超前探查中,进一步查明待开采煤层的赋存状态或掘进工作面前方的地质构造,为开采和掘进设计提供更为详实的地质资料;②用以排除隐患,防治灾害,为煤矿安全生产服务,包括瓦斯抽放、探放水、煤层注水降尘、难冒落顶板注水软化、探查火区及注水灭火等;③其它一些工程钻孔施工。在用于勘探目的时,坑道钻探与巷探比较,具有成本低、速度快,而且不影响后期采掘工作等优点,但取得的信息量不如巷探丰富。在条件许可时,应尽量用钻探代替巷探。用坑道钻探代替地面钻探,对矿井深部进行勘探,可以避开地表覆盖层和浅部采空区,既节省钻探工程量,又可简化钻探工艺,加快工作进度,降低成本。

坑道钻探作业空间狭小,设备搬运困难,钻孔方向变化大,且以近水平或倾斜的钻孔居多,这些特点对坑道钻探设备的结构型式产生很大影响。世界各国在该领域的发展速度虽有差别,但都经历了相似的过程。起初没有专门用于坑道钻探的钻机,都是将地面钻探用的立轴式钻机直接用于井下,常需要开凿尺寸较大的作业硐室(钻窝),以便利用升降机升降钻具,特别在深孔钻进时,要耗费大量资金和时间。在钻进上仰钻孔时,用升降机拉送钻具操作很困难。由于操作人员离孔口很近,在钻凿抽放瓦斯孔和探水孔时很不安全。国外从20世纪60年代开始,对坑道钻机的结构和性能作了很大改进,实现了以全液压动力头机型为主的坑道钻机更新换代。中国于20世纪70年代在引进吸收国外先进技术的基础上,结合本国情况研制了自己的全液压动力头式坑道钻机,并且在80年代基本实现了系列化。由于这种新型钻机直接用动力头拉送钻具,取消了升降机和钻塔,再不需开凿大尺寸的作业硐室,在钻

进各种角度的钻孔时,也都能保证工作安全。另外,由于采用了分体式结构,搬运方便,在工作地点布置灵活,这些突出的优点,使之在生产中迅速推广应用。坑道钻探使用的钻探泵仍然是地面钻探中用的往复泵,但配用了隔爆型电动机。在钻具配备上,坑道钻探常用外平式钻杆,而且长度较小。在近水平钻孔中进行绳索取心钻进时,要用冲洗液送入内管和打捞器,所用的钻具与地面钻进中所用的在结构上略有不同。

在钻进方法上,除勘探钻孔需采取岩心外,通常都采用无岩心钻进,钻孔结构也较简单。回转钻进是普遍采用的方法,只有在硬岩中进行无岩心钻进且对钻进速度要求较高时,才采用风动冲击钻进。因为含煤岩系中软及中硬岩石居多,所以硬质合金钻进应用最广。在硬岩中进行取心钻进或绳索取心钻进时,多用金刚石钻进。近年来,复合片钻头也开始应用于煤矿井下,个别矿井还用镶齿牙轮钻头在硬岩中进行大口径无岩心钻进。除了应用地面钻探中的成熟技术之外,在坑道钻探中还发展了水平钻和煤层钻。

水平钻和煤层钻都属于受控定向钻进(见定向钻进),但是水平钻要使钻孔轨迹维持近似水平,既可穿过煤层也可穿过围岩,而煤层钻则要使钻孔在煤层中延深,为此钻孔轨迹要按煤层的起伏变化而弯曲。它们都是随着综合机械化采煤技术的推广,要求对地质构造的探测精度不断提高,为更有效地进行瓦斯抽放,要求钻进较深的沿煤层钻孔等技术需求的出现而发展起来的。在国外,从20世纪70年代初开始研究,至70年代末已基本成熟,80年代得到推广应用和进一步完善。中国从20世纪70年代末开始作技术上的准备,80年代末正式列项,将煤层钻与地质预测、物探等手段结合起来,开始综采煤层地质条件综合探测技术的试验研究。

一般来说,这两种定向钻进方法的技术关键都是,①用精度高、性能可靠的钻孔测斜仪在钻进过程中经常对钻孔的倾角和方位角进行测量,及时掌握钻孔轨迹的变化;②随时将钻孔实际轨迹与设计轨迹相比较,同时参照岩心或岩屑的变化,判断钻孔偏斜的方向和大小,然后采取相应的纠斜措施,改变钻孔方向,使之回到设计轨迹上或煤层中。

用于定向钻进的人工造斜工具种类较多,但在水平钻和煤层钻中应用效果较好的是采用稳定组合钻具或螺杆钻具配以造斜件。用稳定组合钻具进行定向钻进(见稳定器)的优点是,在正常钻进的同时进行造斜,其工效高、成本低;其缺点是,造斜效果在很大程度上取决于施工人员的经验,并且对钻孔方位(水平偏差)的控制能力较差。用螺杆钻具配以造斜件进行定向钻

进,可提高造斜的可靠性,并且对钻孔倾角和方位角都能进行有效的控制。但是,螺杆钻具价格高,使用寿命短,增高了钻探成本,只宜短时使用。在生产中,通常将两种方法相结合,以获取较好的技术经济效果。

在用水平钻和煤层钻进行地质勘探时,为提高钻探效率,常用绳索取心方法。在冲洗液漏失不严重时,可用绳索取心钻杆进行单壁管反循环连续取心,但当钻孔漏失严重时,只能用特制的双壁钻杆。在孔深较大时,为既增加钻孔信息量又不大幅度地增加钻探工程量,还可采用钻进分支孔的方法。

在不采取任何定向措施的情况下,近水平钻孔或沿煤层钻孔的深度一般都不超过100m。即使有些钻孔超过100m,也往往因偏斜过大而达不到预期目的。采用上述受控定向钻进技术之后,既可大大增加钻孔深度,又可减小与设计钻孔轨迹的偏差。在美国,沿煤层钻孔深度通常可达500~600m,主要用于瓦斯抽放。德国为解决采区地质勘探问题,开展水平深孔定向钻进技术的研究,并于1980年创造了在煤矿井下钻进1770.3m水平钻孔世界纪录。中国虽然在这方面起步较晚,但在借鉴国外成功经验的基础上发展很快,尤其在地质、物探等手段的紧密结合上,有自己的独到之处。

(胡少韵)

## kongnei jishu cejing

**孔内技术测井** (caliper and deviation logging) 又称井内技术测井,用地球物理原理进行钻孔孔径测量和孔斜测量方法的总称。

**孔径测量** 又称井径测量,用地球物理原理测定钻孔直径随深度变化的方法。由于岩层、冲洗液、钻具等多种因素的影响,采用同一直径钻头钻进时钻孔的实际孔径与钻头直径并不一致,通过孔径测量,可获得钻孔直径随深度的变化。孔径测量仪上一般安装有一个或若干个可张开的测量臂,由弹簧将其压靠孔壁,其张开角度可随孔径变化而自动改变,经校准(即刻度)后,可获得各深度的孔径数据。孔径测量可单独进行,其仪器通常安装有三四个测量臂,有时,孔径测量也可伴随其它测井方法同时进行。带有推靠装置的密度测井探管,其推靠臂就可兼作孔径测量臂。岩层产状测井仪的紧贴孔壁的微电极系,也可兼作孔径测量臂,三电极系岩层产状仪由三个臂测量孔径;四电极系岩层产状仪则用相互垂直的两对测量臂分别测量孔径,可获得两组孔径数值,由此还可估计钻孔截面形状。

煤层一般相对较软,在钻进过程中该层段孔壁往往容易坍塌,出现孔径扩大现象。渗透性岩石常因冲洗

液的渗入而在其表面形成泥饼,易使该层段孔径变小。致密和胶结良好岩石段孔径曲线比较平直,且数值一般略大于钻头直径;孔径曲线可用以寻找孔壁坍塌段位置,也可作为辅助曲线用来识别不同的岩性。多数测井方法都不同程度地受孔径与冲洗液的影响,孔径测量数据是对各种测井曲线进行环境因素校正必不可少的参数之一。在煤田地质勘探中,孔径测量虽属辅助测井方法,但又是必须进行的测井项目。

**孔斜测量** 又称井斜测量,用地球物理原理测量钻孔偏离铅垂方向的角度和方向。前者是测量孔斜角,后者是测量孔斜方位或孔斜方位角。一般借助地球重力场和地球磁场确定孔斜角与方位角。因此只能在无磁性物质的裸孔中进行。通常采用的测量方法有机械式与电子式两种。①机械式测量。利用悬挂重锤测定仪器轴(仪器轴与相应段钻孔轴重合)偏离铅垂方向的角度(即孔斜角);利用罗盘确定钻孔倾斜偏离磁北的方位角(即孔斜方位角)。机械式测量成本较低,但只能定点测量。②电子式测量。采用若干个磁通门传感器与重力加速度传感器,分别测量地球磁场与重力场的分量,通过矩阵运算求出孔斜角与孔斜方位角。电子式测量精度较高,且可连续测量,但成本较高。当孔斜角很小(小于 $3^\circ$ )时,孔斜方位角没有实用意义。

孔斜测量成果通常绘制成钻孔沿某一方向的剖面投影图以及水平投影图。前者反映钻孔在该剖面方向上孔斜角沿深度的变化;后者反映了钻孔沿水平方向偏移的位置。

根据孔斜成果,可将钻进中测定的煤层伪厚度换算成其真厚度;按煤层深度确定钻孔见煤点煤层的真正坐标(经纬度)。孔斜资料对于保证钻孔钻进方向和计算煤炭储量是必不可少的。在岩层产状测井中,必须有孔斜资料作为坐标系旋转的参数。在岩层产状测井不普及时,可根据孔斜测量成果粗略估计岩层产状。

(刘家瑾)

kongnei shigu

**孔内事故** (trouble in hole) 由于自然原因或设计、管理、施工、操作不当,而在钻孔内发生落物、钻杆折断、钻具脱扣、卡埋钻具、烧毁钻头等使正常钻进中断的现象。除情况极为特殊者外,一般孔内事故皆可通过技术性处理予以排除,但它贻误工期、增加成本,故应以预防为主。有经验的技术工人能根据细微的事故征兆,把隐患排除在事故发生之前。

**种类** 孔内事故以钻杆折断、钻具脱扣居多。有时,因操作疏忽,在升降钻具过程中使钻具滑脱掉入孔内造成跑钻事故,或小型工具、物件掉入孔内,或钻头

镶焊不牢使切削具崩落在孔底等。这类事故较易处理。较严重的孔内事故有,①卡钻,即因孔壁岩石掉块或膨胀缩径,使孔内钻具升降受阻;②埋钻,即孔内钻具被大量沉降的岩屑或孔壁坍塌物埋住,不能回转和提升,冲洗液不能循环;③烧钻,即在孔底工作的钻头得不到及时的冷却而被烧坏或钻头、岩心同孔壁岩石被烧结在一起;④断管,即钻具在孔内折断;最严重的是因处理方法或操作不当,造成事故叠加。处理这类事故,既费时,又困难,有时不得不放弃处理,停止钻进而使钻孔报废。造成事故的原因有操作不当、检查不严的主观因素,也有地质情况复杂的客观因素,但单纯由客观因素引起的孔内事故较少。

**处理要领** 处理孔内事故有三个要领,①查明情况,准确判断,及时处理;②工具适宜,方法可行,分工配合;③沉稳操作,细致耐心,随时注意情况变化。其中,最重要的是绝不能情况不明就贸然处理。事故发生后,要立即记下机上余尺并弄清事故的性质及类型,进而查明事故的准确部位及孔内现状,包括钻具的组合方式及数量。钻杆折断或钻具脱落后,不仅须确知其折断或脱落的准确部位,还要查明断头的性质,必要时还需借助“打印机”了解情况,以便正确选择打捞工具。对严重孔内事故,在弄清情况后,要集中有关技术人员、钻场工人集思广益,综合分析,提出几套可行的处理方案,先从安全、容易实施、见效快的方案入手,遵循由简单到复杂的处理顺序,抓紧时间有步骤、有耐心、沉稳地进行操作。尤其要避免在处理过程中使事故进一步恶化,更要防止因急躁、匆忙、粗心大意而造成叠加事故。

**处理方法** 处理孔内事故常用的方法可概括为,①捞取,即利用各种类型的矢锥、打捞器、磁力打捞器、抓筒等直接捞取,它宜用于处理折断、脱落的钻杆和孔内落物等;②强提,即利用钻机的升降机,配合复式滑轮组强力提拔,它宜用于处理夹卡不甚严重的钻具;③窜扫,利用镶有硬质合金的异径接头回转切磨、上下窜扫,它宜用于处理孔壁探头石和缩径孔段;④震打,即利用吊锤或震动器的震击力,将被埋、卡、烧的钻具震松;⑤闷顶,即利用螺旋千斤顶或液压千斤顶,间歇性地强力起拔,它宜用于处理卡夹或埋烧较严重的钻具;⑥反卸,即利用反螺旋(左旋)钻杆和矢锥,将被卡、埋的钻具(右旋)从其接头处卸开,也可直接将钻具反向回转,使之在某接头处卸开,然后再作进一步处理;⑦轰爆,即利用局部爆破,炸断被卡埋位置以上的钻具,再作进一步处理,有时,它也可用于震松钻具被卡部位或直接解卡;⑧钻透,即当孔内仅剩受卡的粗径钻具时,可采用小径钻头钻入被卡部位,借以解卡或使之



松动再予捞取；⑨扩套，即利用大径钻头扩孔并套入受卡粗径钻具。此法适用于较软岩层或浅孔，当钻孔换径处距被卡埋位置较近时，在较硬岩层或深孔中也可采用；⑩分割，即利用各种切管器，将难以起拔的护壁套管分段切割后取出，卡埋过紧又较长的粗径钻具，在钻透、扫平岩心后，也可采用此法处理；⑪切劈，即用切铁钻头磨切、劈开被卡粗径钻具，使之分离，然后分别取出；⑫磨灭，即用平面切铁钻头将被卡粗径钻具磨灭。总之，处理孔内事故的方法和工具很多，究竟采用哪种方法，选用哪种工具，都要根据孔内具体情况而定，有时甚至需临时试制某种打捞工具。在处理事故的过程中，要随时注意情况的变化，采取相应的处理方案，不可一味拘泥。事故排除后，还要进行总结，吸取经验教训。

(赵贵祥)

#### Kuzniecike Meitian

#### 库兹涅茨克煤田 (Kuznetskiy Coalfield)

简称库兹巴斯 (Кузбасс)，俄罗斯晚古生代和中生代煤田，其硬煤探明储量和产量在俄罗斯居首位。该煤田位于俄罗斯西西伯利亚的克麦罗沃州 (Кемерово)，为一宽阔盆地，三面环山，西南面以萨莱尔岭 (Salairskiy Kryazh) 为界，东南面邻接戈尔诺绍尔隆起 (Горношорское поднятие)，东北与库兹涅茨克山 (Kuznetskiy Alatau) 接壤。在北西方向，盆地过渡为西西伯利亚低地。煤田呈北西—南东向，长约 335km，宽约 110km，面积约为 2.6 万 km<sup>2</sup>，大致呈四边形。

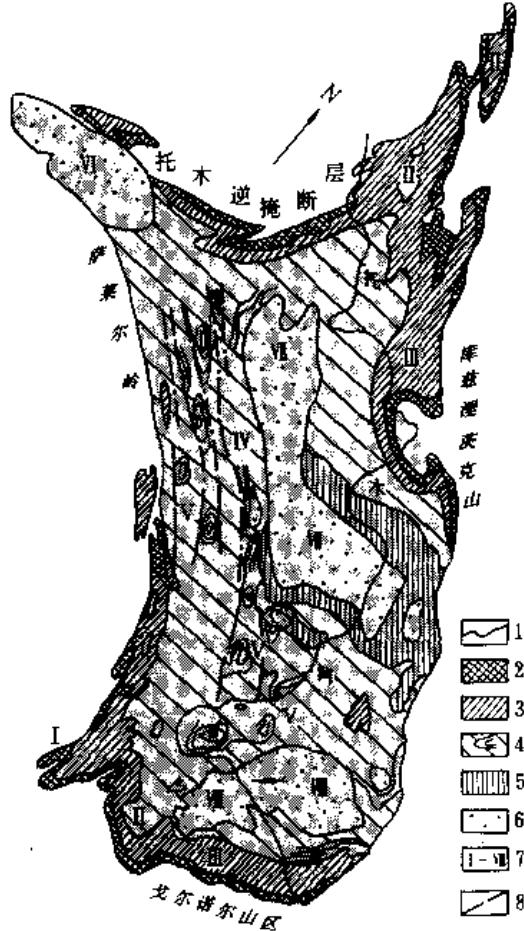
**地质** 库兹涅茨克煤田为一构造复杂的复向斜，在早石炭世海相沉积之上，发育有厚达 9km 的晚古生代 (晚石炭世—晚二叠世) 和中生代 (三叠纪—侏罗纪) 含煤岩系。

晚古生代含煤岩系包括石炭纪—早二叠世巴拉洪群 (Balakhonckaya group) 和晚二叠世科利丘京群 (Kol' chuginskaya group)。巴拉洪群发育在复向斜边缘部分，呈狭窄条带，长约 15~25km。它在复向斜中央被较年轻的地层覆盖，仅在局部隆起区出露地表。科利丘京群在复向斜中央普遍发育。

在晚古生代地层的冲刷面上，发育有晚三叠世—侏罗纪塔尔巴甘群 (Тарбаганская серия) 含煤岩系。

该煤田具有复杂的多层结构，三个含煤岩系的地质构造差别 (右上图)。①巴拉洪群在北部与托木逆掩断层和萨莱尔岭接触处，呈现狭窄、陡峭、局部倒转的线性褶皱；在东部与库兹涅茨克山和南部与戈尔诺绍尔山区相邻地区则为单斜产状，向煤田中央缓倾斜；在煤田边缘各种方向褶皱系的汇合处，发育有大型向斜

构造。②科利丘京群在西北部地区呈宽阔的地堑状褶皱带；在西南部地区为各个方向的短轴状褶曲，翼部平缓。③塔尔巴甘群则多呈现巨大而平缓的短轴向斜。



库兹涅茨克煤田地质简图

1—煤田边界线；2—下石炭统；3—巴拉洪群；4—科利丘京群；5—下三叠统；6—塔尔巴甘群；7—主要构造带及编号 (I—线性褶皱和强烈破坏带，II—外褶皱系共轭带，III—单斜产状带，IV—线性延伸的地堑状褶皱带，V—短轴褶皱带，VI~VII—中生代继承性盆地)；8—地堑状新层

(据 Н. В. Митронов, 1982)

**含煤性** 库兹涅茨克煤田巴拉洪群下部含煤性低且不稳定。在煤田的北部和南部，其下亚群有工业含煤性，含有厚达数米的不稳定煤层，其上亚群的含煤性沿剖面往上增高，在一些岩组中含有 20 层厚 2.5~10m (个别为 25~32m) 的煤层。科利丘京群下亚群含有许多煤层，但主要是薄的煤层，煤田南部含煤系数最大，可采煤层的厚度为 1.5~2.5m (个别为 8~10m)，其上亚群中部层位的含煤系数高而稳定，在煤田中部含有多达 40 层厚 1~3m (个别 10~25m) 的可采煤层。在塔尔巴甘群中发现有 11~56 层煤层，其中 5~14 层达





到可采厚度(0.8~9.4m),以中央盆地及其以南的向斜的西部边缘含煤系数最大。

巴拉洪群煤层主要呈简单结构(占37%)和中等复杂结构,煤岩成分复杂,以暗煤为主。科利丘京群煤层主要呈中等复杂结构(60%~70%)和复杂结构(26%~30%),以亮煤为主,多半为光亮型煤和半亮型煤。塔尔巴甘群煤层结构复杂而不稳定,厚度易变。

**煤质** 库兹涅茨克煤田蕴藏有各种变质程度的煤,煤质优良,炼焦煤品种齐全,焦煤、肥煤、气煤和瘦煤的储量都很丰富,而且易于洗选,结焦性好,硫含量低,为0.3%~1.0%,磷含量也低,为0.002%~0.07%。巴拉洪群的煤为气肥煤至无烟煤,其中气肥煤、瘦煤分布在煤田的东部边缘和沿萨莱尔岭一带,煤田主要蕴藏贫煤,部分为无烟煤(占600m以浅探明储量的47%),煤的灰分为9.5%~20.5%,平均14%。科利丘京群的煤为长焰煤至肥煤,主要为气煤(占600m以浅探明储量的56%)和长焰煤(占29%),肥煤较少(占8.5%)。塔尔巴甘群的煤主要为向长焰煤过渡的褐煤,水分为16%~21%,发热量为29.55MJ/kg;部分为长焰煤到气煤。

**资源** 库兹涅茨克煤田总煤炭资源量为636.9Gt(硬煤计算深度1800m,褐煤计算深度600m),其中,符合工业指标的548.1Gt,适于炼焦的214.9Gt,动力煤400.6Gt,无烟煤10.3Gt,褐煤11.1Gt。适于露天开采的资源量有14.2Gt。其中,炼焦煤仅1.9Gt,但尚未完全查明。

该煤田煤的探明储量为117Gt。其中,A+B+C<sub>1</sub>级为66.4Gt,C<sub>2</sub>级为42.3Gt。煤田含煤密度高达28t/km<sup>2</sup>。

**开采地质条件** 库兹涅茨克煤田煤层分布集中,有工业意义的面积为1.2万km<sup>2</sup>(占煤田总面积的45%),已采和在建矿面积在3000km<sup>2</sup>以上,主要集中于煤田西部。有些地方煤层多达300层,其中可采层有89层;煤层较厚,1m以上煤层占可采煤层的90%,6.5m以上的占22%,可采煤层平均厚2.2m。煤层埋藏较浅,目前,矿井平均开采深度为350m。所有矿井都是在有煤尘、瓦斯的条件下进行开采,瓦斯含量介于6~40m<sup>3</sup>/t煤之间。水文地质条件中等复杂,井巷中的涌水量通常不超过200~300m<sup>3</sup>/h,个别矿井达到500~1000m<sup>3</sup>/h。

**开发概况** 库兹涅茨克煤田发现于1721年,从1842年起进行工业性开采,20世纪20年代末开始大规模开发,30年代初在该区兴建乌拉尔-库兹巴斯煤炭钢铁基地,目前已成为俄罗斯巨大的重工业中心。

1990年,该煤田煤产量为150.4Mt,占全俄煤产

量的39%。其中,露天矿煤产量为69Mt,占该煤田产量的40%。

(李淑清)

## kuangjian dizhi

### 矿建地质 (mine construction geology)

又称建井地质,从建井准备开始,直到矿井建成投产整个过程中的地质工作。其主要任务是:从事建井地质勘探、系统编录建井过程所揭露的地质资料;及时预报并研究解决建井施工过程中出现的地质问题,编制建井地质报告和移交生产的全部地质资料。

**建井地质勘探** 新井开凿前,为查明井筒、井底车场、硐室和主要运输大巷所在位置的岩层、煤层、构造、水文地质及工程地质情况而进行的地质勘探工作。主要是布置和施工井筒检查钻孔和层位控制钻孔。

**井筒检查钻孔** 为核实井筒地质剖面资料,供编制井筒设计、制定施工方案提供必要地质资料而在设计井筒附近追加施工的地质探查钻孔。它的布置取决于井筒的开拓方式、数目和间距以及地质、水文地质条件的复杂程度。

**立井检查钻孔** 一般布置在主、副井筒中心连线的中点或连线延长线上的适当位置。检查钻孔数目可视地质、水文地质条件的复杂程度而增减,一般一两个。检查钻孔的终孔深度要求达到立井落底标高以下。

**斜井检查钻孔** 布置在主、副斜井轴线中间的平行线上。检查孔数目一般不少于三个,其中第一个钻孔布置在煤层露头附近,最后一个钻孔布置在斜井与平巷连接处附近。检查钻孔的终孔深度要求达到该钻孔所在位置斜井底板标高以下。

**平硐检查钻孔** 布置与斜井相似。①对穿层平硐,需要有足够的钻孔穿过平硐通过的各个岩层,并严格控制平硐见煤位置。②对顺层平硐,要求进一步控制煤层底板标高,平硐所在岩层的厚度、岩性和标高变化。

井筒检查钻孔一般距立井井筒中心或斜井井筒、平硐轴线不小于10m,以免勾通含水层与井巷和硐室的水力联系,导致井巷淋水。

井筒检查钻孔应确保施工质量,切实做好岩、土、气、水样的采样,化验和测试,认真进行水文地质观测和抽水试验,取全取准资料。终孔后,严密封孔并及时提交井筒检查钻孔竣工报告书,其内容包括:简要文字说明以及图件与附表。①文字部分。重点说明井筒施工时将遇到的水文地质与工程地质条件。②图件。井筒位置和检查钻孔平面布置图(比例尺1:1000),井筒检查钻孔地质剖面图(比例尺1:1000),井筒检查钻孔柱状图(比例尺1:200)。③附表。各种样品分析、测

试成果表, 抽水试验和地温测量成果表等。

**层位控制钻孔** 为核实井底车场、硐室、主要运输大巷所在水平、所在位置的地质、水文地质和工程地质情况, 为制定施工方案提供必要地质资料而施工的地质探查钻孔。它们一般布置在初步设计拟定的主要开拓工程(井底车场、硐室和主要运输大巷)轴线的平行线上, 但不能布置在硐室和运输大巷的正上方。其施工要求与井筒检查钻孔相同。钻孔竣工后, 严密封孔并提交层位控制孔柱状图(比例尺 1:200)、预想水平切面地质图(比例尺 1:1000)、沿工程轴线方向地质剖面图(比例尺 1:500~1:1000)及简要文字说明和附表。

**建井地质编录** 井巷掘进时, 及时对所揭露的地质现象进行观测、编录, 然后进行综合分析, 以便随时补充、修改原有的地质资料(见矿井地质编录)。

**建井地质报告** 建井过程地质工作的总结。它包括文字说明及附图两大部分。文字说明部分分为概论, 井田地质构造特征, 煤系、煤层、煤质特征, 井田水文地质特征, 储量与三量计算和结论等六章。但重点是阐述建井全过程地质工作(包括物探、钻探、巷探)的情况, 新获得的地质资料及其综合分析的结论, 对原地质报告的评价, 提出尚存在的主要地质问题及对该矿井今后矿井地质工作的建议等。

(龙荣生)

kuangjing dire

**矿井地热 (mine geothermal)** 矿井内围岩散发出来的地球内部热量。它是矿井内空气增温的主要热源, 既是矿井热害的根源, 又是一种宝贵的地下热源。研究矿井地热的主要任务是, 查明矿区(矿井)地温状况, 对出现的热异常区段或热异常点进行调查并测量有关地热参数, 查明热异常区的分布及其地质背景, 为防治井下热害或利用地热提供方案。各矿的地温梯度大小不一, 由 1~2℃/100m 到 4.1℃/100m 不等。地温梯度小的矿井在 800m 深度条件下, 正常通风后井下温度不超过 26℃; 而地温梯度大的矿井, 深度在 500m 以内气温即可超过 30℃, 在井下湿度大的条件下工人劳动条件恶化, 构成热害。

**地壳浅部地热分带** 在地壳近地表的浅部, 一方面把地球深处传导上来的热流散发到空间; 另一方面又接受来自太阳的辐射热。这种放热与吸热的相互作用, 构成地壳浅部的地温场。根据地温测量资料, 地壳浅部地温场呈现分带现象, 由上而下可分为变温带、恒温带和增温带等三带(图 1、图 2)。

**变温带** 位于地壳最上部, 主要受太阳辐射热影

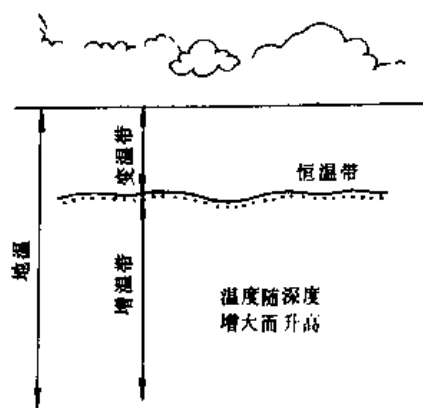


图 1 地温分带图

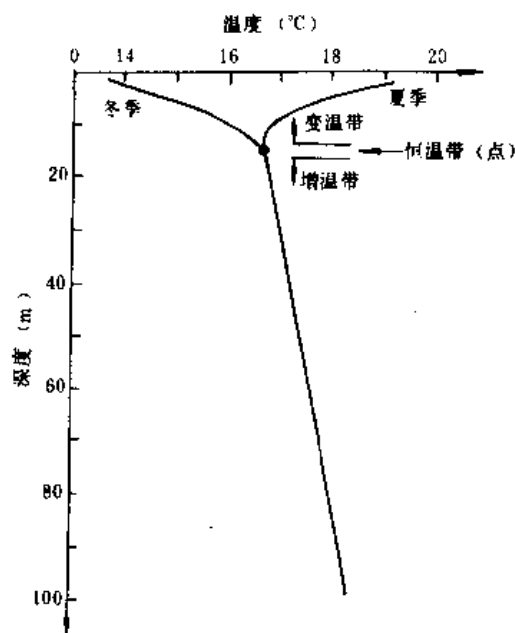


图 2 变温带、恒温带与增温带的关系  
(据中国河南平顶山 101 钻孔)

响, 温度发生周期性变化的层带。它可分为日变温带和年变温带。一般, 日变温带深度仅 1~2m; 年变温带则可达 15~30m。变温带内地温场的变化特点是, 地温随地表气温呈近似正弦曲线的周期变化, 但是两者变化不同步, 地温比气温滞后一段时间, 同时地温的变化幅度小于气温的变化幅度, 并随深度增加而锐减(图 3)。

**恒温带** 位于变温带之下, 太阳辐射热与地球内部热相互作用达到平衡, 温度常年不变的层带。恒温带一般很薄。它的温度约比当地年平均气温高 0.5~2℃。恒温带的深度多数在地表下 15~30m。恒温带的深度和温度, 在一定程度上反映一个地区的热状况和热历史, 对评价深部地温、地热资源有参考意义。

**增温带** 位于恒温带之下, 主要受地球内部热流控制, 温度随深度增加而增高的层带。增温带的温度随

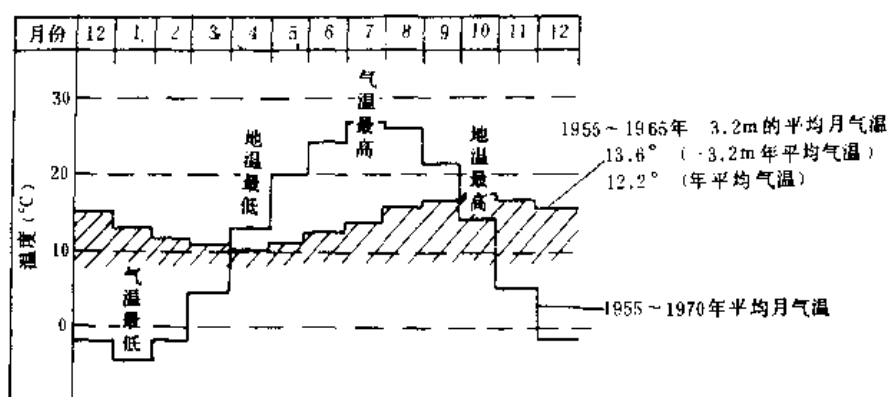


图3 变温带地温与气温的关系  
(据天津市气象台)

深度的变化率,用地温梯度或地温率表示。地温梯度又称地热梯度,是由地表向地心方向单位距离内温度增加的数值,通常用每100m或1000m深度内温度增加的数值表示( $^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 或 $^{\circ}\text{C}/1000\text{m}$ )。地温率是地温梯度的倒数。

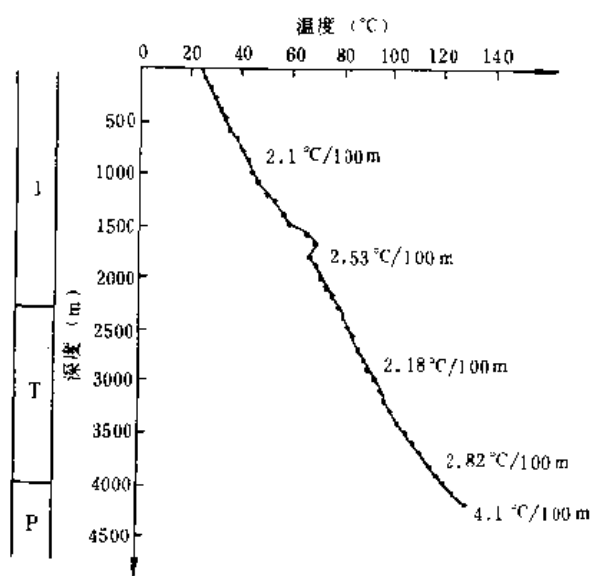


图4 中国四川某基岩地温曲线  
(据7002队)

地温梯度受多种因素影响,不同地区或同一地区不同深度的地温梯度均存在变化,但由地表向深部,地温梯度有变小的趋势,因而不能用浅部的地温梯度无限下推。实测的地温曲线可以反映一个地区的地热状况并计算相应的地温梯度(图4)。

**矿区地温场影响因素** 一个矿区(矿床)的地温场是当地长期地质历史发展的结果,它受大地构造性质、岩石热物理性质、基底起伏与褶皱构造、深大断裂、地下水活动的状况、局部热源等多种地质条件的影响。

**大地构造性质** 在中、新生代造山带等地壳强烈活动区,地温场的特征是热流值大,地温高,平均地温梯度大;而在古老的地盾和地台区等地壳运动相对稳定区,地温场的特征则正好相反,热流值小,地温梯度小,地温低。但地台区在中、新生代有伸展运动引起的断裂带,地温偏高。

**岩石热物理性质** 岩石热物理性质包括热导率、比热和导温系数等。它们决定着岩石传导、储存和扩散地热的能力,是评价矿区地温场不可缺少的重要参数。热导率低的岩石,地温梯度大;热导率高的岩石,地温梯度小。沉积岩中,煤的热导率低,在煤层较厚或煤层集中分布的地段,地温梯度大。

**基底起伏与褶皱构造** 在深度相同的条件下,基底隆起区比相邻拗陷区,背斜部位比相邻向斜部位的地温高,地温梯度大(图5)。

**深大断裂** 通达上地幔的深大断裂,是深部岩浆、热水等热载体的上升通道,因此,邻近深大断裂的煤田,热流值偏大,地温偏高。但深大断裂各段的力学性

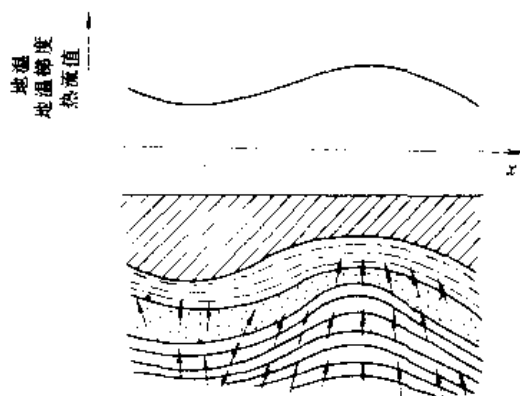


图5 构造形态与地温场的关系  
(箭头表示热流方向)

质及围岩的热物理性质有差异,热载体活动不均匀,深大断裂两侧的地热状况也存在差别。

**地下水活动** 在地下水由地表向下强烈活动区,地下水起降温作用,形成低地温区。地下水在深部被地温加热后,又流向浅部,使附近地温升高,把矿井变为高温矿井。重庆北碚的北温泉,广西合山煤矿的热水,就属这种成因。

**局部热源** ①矿山附近有近期的岩浆活动时,火成岩体在冷却过程中释放的热量,可使附近地温升高。②矿山附近岩层和岩体内有放射性元素富集时,它们的衰变热可使地温升高。③金属硫化物的氧化,也可使局部地温升高。

**中国矿山地温类型** 中国科学院地质研究所通过对中国东部各类矿山的地温状况的研究,于1978年提出了矿山地温类型的初步划分方案,1988年又作了修订,把矿山分为低地温梯度类(包括深源低热型、地下水循环冷却型)、中常地温梯度类、高地温梯度类(包括深源高热型、局部聚热型及基底隆起亚型和高热阻

岩盖亚型以及高热导岩带亚型、附加热源型及岩石高产热亚型及热水循环亚型)等三类、五型、五亚型,并提出了各类型矿山地温场研究方法和矿山高温对策的原则性考虑。

**矿区地温研究方法** 包括地温测量、恒温带确定、地温梯度计算,岩石热物理性质测定,热流值计算和矿区深部地温预测等。

**地温测量** 通过钻孔或炮眼,利用测温仪器测定地温。钻孔测温方法分为稳态测温和非稳态测温两种。稳态测温是指冲洗液温度与围岩温度已达平衡,孔内温度处于完全稳定状态,钻孔所测各段冲洗液温度即代表围岩温度。非稳态测温是冲洗液温度与围岩温度尚未达到完全平衡状态时的钻孔测温。

**恒温带确定** 恒温带的深度与温度,一般通过恒温带观测孔来确定,在冬季和夏季分别测温,顶部的交点即恒温带(图2)。在没有观测孔的条件下,可根据地面气象资料确定,即用当地年平均气温加 $0.5\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。深度用一般测温孔的曲线标定。

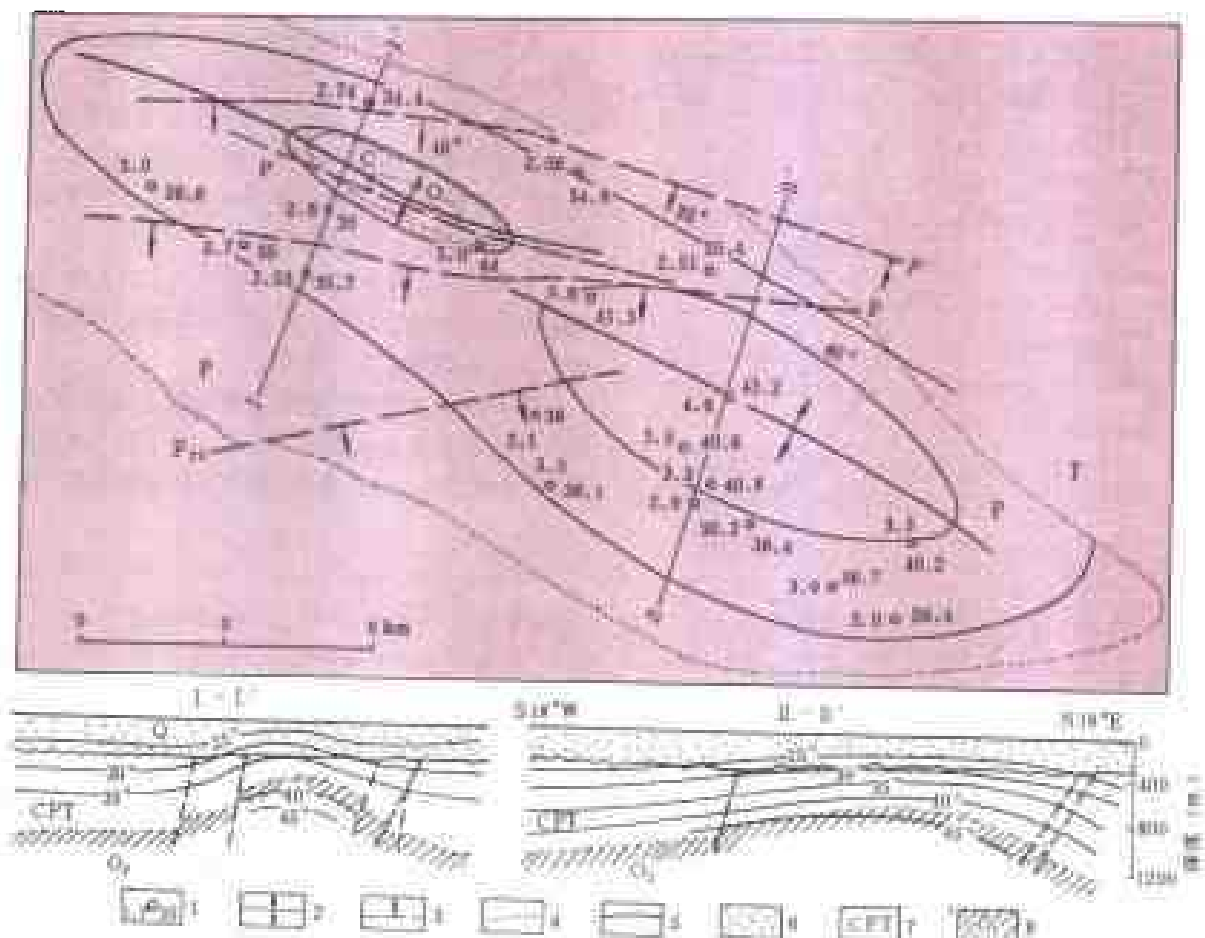


图6 中国淮南潘集背斜垂深700m地温等温线图及地温剖面图

1—钻孔及地温梯度(左)、温度(右); 2—背斜轴; 3—断层; 4—地层界线; 5—地温等温线;  
6—第四系; 7—石炭二叠三叠系; 8—中侏罗统



**地温梯度计算** 稳态测温可直接根据钻孔测温曲线计算各层段的地温梯度(见图4)或全孔平均地温梯度。非稳态测温只能利用恒温带数据与孔底深度和温度,计算钻孔平均地温梯度。

**热流值计算** 由地球内部传递到地面的热量称热流,其物理含义为单位时间内通过单位截面的热量:以往把  $1 \mu\text{cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{s})$  称作1热流单位(1 Heat Flow Unit 即 1 HFU),现改用  $\text{mW}/\text{m}^2$  ( $1 \text{ HFU} = 41.868 \text{ mW}/\text{m}^2$ )。在测定某层段岩石的热导率和地温梯度后,将两者相乘即得当地的热流值。

**矿区深部地温预测** 根据地表下浅部地温场的特点和地质背景,预测矿区深部地温并将预测成果反映在地温剖面图、煤层底板等高线图或水平切面上(图6)。预测中要选择预测目的层,确定地温梯度地区为山地时,尚需进行地形校正。

#### 参考书目

杨起、韩德馨等,《中国煤田地质学》上册,煤炭工业出版社,1979。

余恒吕等,《矿山地热与热害治理》,煤炭工业出版社,1991。

(龙荣生 陆国祯)

#### kuangjing dizhi

**矿井地质** (mining geology) 从矿井基本建设开始,直到开采结束为止期间的全部地质工作。它是矿井生产建设的一项重要基础技术工作,其目的是研究与解决矿井生产建设中的各种地质问题,为建井和采掘设计提供地质依据;为矿井连续生产和安全生产提供地质保障;尽力增加矿井煤炭可采储量,提高煤炭储量级别,监督煤炭资源回收率,延长矿井寿命。矿井地质包括矿建地质和生产地质两部分。

**矿建地质** 从煤矿建井准备开始,直到矿井建成投产整个过程中的地质工作。

**生产地质** 从煤矿移交生产开始,直到煤矿开采结束过程中的地质工作。

#### 基本任务

(1) 研究矿井地质构造、含煤岩系、煤层和煤质的变化规律,查明影响矿井生产建设正常和安全进行的各种地质因素。

(2) 进行矿井地质勘探、地质观测、编录和综合分析,为矿井生产建设各个阶段提供所需的地质资料,解决矿建和采掘工作中的地质问题。

(3) 计算和核实矿井煤炭储量,掌握储量动态,根据采掘需要提高煤炭储量级别,设法增加矿井煤炭可采储量,及时提出合理开采和利用煤炭资源的意见和建议。

(4) 调查研究含煤岩系共(伴)生矿产的赋存情况和利用价值。

**工作内容** 包括矿井地质资料编录、矿井地质勘探、矿井储量管理、矿井地质综合分析、地质预测和地质预报等六个方面。

**矿井地质资料编录** 把矿建、采掘过程中所观察到的各种地质现象,及时用文字、图表等形式系统、客观地反映出来的工作,它是矿井地质日常工作中最基本的内容(见矿井地质编录)。

**矿井地质勘探** 由矿井建设开始,到开采结束期间所进行的一切勘探工作(见矿井地质勘探)。

**矿井储量管理** 计算和核实矿井储量,掌握储量动态,提高储量级别,设法扩大矿井储量,分析煤炭损失原因,及时提出合理开采和利用煤炭资源的意见,监督合理开采与煤炭资源的合理利用(见煤炭储量、储量级别)。

**矿井地质综合分析** 在地质资料编录的基础上,紧密围绕矿区或矿井存在的主要地质问题,广泛采用新理论、新手段和新方法进行综合研究分析,最后提交矿井地质报告、地质说明书、综合性地质附件、矿井日常生产用图及矿井储量计算等成果,供设计、生产等部门使用(见矿井地质报告、地质说明书)。

综合分析的主要内容包括,①研究含煤岩系的层序、沉积特征及其变化规律;②研究煤层结构、厚度和煤质变化的原因和规律;③研究矿井中小型地质构造的组合特征、形成机制、展布规律和预测方法;④研究含煤岩系中岩浆侵入体的特征和分布规律及其对煤层、煤质的影响;⑤研究矿井瓦斯、二氧化碳等有害气体的富集规律;⑥研究矿井地压的分布规律;⑦研究矿井水害的地质背景;⑧研究煤矿生产中出现的陷落柱、地热等其它地质问题。

**地质预测** 以开采地质条件研究成果为基础,对未开采区影响开采的地质因素作出科学推断。随着数学地质和电子计算机的应用,地质预测工作正在进入量化预测阶段。

**地质预报** 在地质预测的基础上,依据各种地质异常显现标志,借助各种先进探测手段提供的探测结果,对采掘工程施工前方的地质条件作出具体的推断。预报工作分掘进地质预报和回采地质预报两类(见地质说明书)。

**发展概况** 中国开展矿井地质工作已有40多年,在煤矿生产建设中起到了基础技术工作的作用。随着煤炭机械化开采,特别是综合机械化开采工艺的发展,它对采煤工作的指导作用日益明显。英、德、俄、澳、美等主要产煤国家,都把矿井地质视为采煤机械化不

可缺少的工作；把综采地质条件评价和采前地质勘探组合成为综采的地质保证系统。

近 10 多年来，中国为满足机械化采煤的要求，矿井地质技术装备有了长足的进步。坑道无线电波透视技术、槽波地震勘探技术、瑞利波探测技术、采区超前综合探测技术、矿井地质信息处理技术及定量地质预测方法等方面，正跨入世界同类技术的先进行列。

### 参考书目

柴登榜等，《矿井地质工作手册》上册，煤炭工业出版社，1986。

龙荣生，《矿井地质学》，煤炭工业出版社，1991。

(赵宗沛)

## kuangjing dizhi baogao

### 矿井地质报告 (mining geological report)

生产矿井一定阶段地质工作成果的全面总结和综合概括。生产矿井每隔 8~10 年，要配合矿井延深设计、编制或修改矿井地质报告，以重新评价待采区域的地质和资源状况，为矿井延深设计及采掘施工提供地质依据。

矿井地质报告以煤炭资源地质勘探报告、建井地质报告和矿井生产过程中积累的地质编录和矿井地质勘探资料为依据，经过汇集整理和综合分析研究而编制。其内容除针对矿井存在的主要地质问题，立足矿井、结合矿区，着眼当前、兼顾长远，把总结规律、进行评价、开展预测、制定措施结合起来以外，还要重新评定矿井类别。其编写提纲可视各矿的具体情况拟定。

(龙荣生)

## kuangjing dizhi bianlu

### 矿井地质编录 (geological record of mine)

把煤矿生产建设过程中所观察到的地质现象以及综合研究的结果，用文字、图纸、表格等形式正确、系统地反映出来的工作。

地质编录是煤矿地质日常工作的基本内容，地质编录资料是进行地质分析研究和指导采掘设计和工程施工的基础技术资料。地质编录分原始地质编录和综合地质研究两类。原始地质编录是随采掘巷道和钻孔施工进度，及时地把实见地质现象进行观察并测绘、记录。综合地质研究是把局部或全矿井的原始地质编录资料及其它地质资料加以综合分析后，编绘出反映矿井总体或局部地质情况的各种地质图件和文字说明，作为煤矿设计和施工的地质依据。

**原始地质编录** 又称资料编录，包括及时、真实地

把井巷和钻孔实见的地质构造，煤层厚度与结构，岩性特征等进行观测、描述、素描、摄影和记录；以及通过采样、化验、测试、鉴定、水文地质工作、物探工作等直接取得的有关原始数据、图件和文字记录。原始地质编录资料包括矿井地质记录簿、井巷地质素描图和典型地质现象素描图、照片、煤和岩石标本、钻孔柱状图、钻孔成果卡片和台账等。

**井巷地质素描图** 主要包括立井地质素描图，石门、斜井、岩石上(下)山地质素描图，岩巷地质素描图，主要煤层巷道地质素描图等四种(见地质编录)。

**立井地质素描图** 立井井筒一般编录两个互成直角的井筒素描剖面(把井筒圆形断面简化为正方形断面)。其中，主素描剖面一般与矿井地质剖面的方向相一致(图 1)。

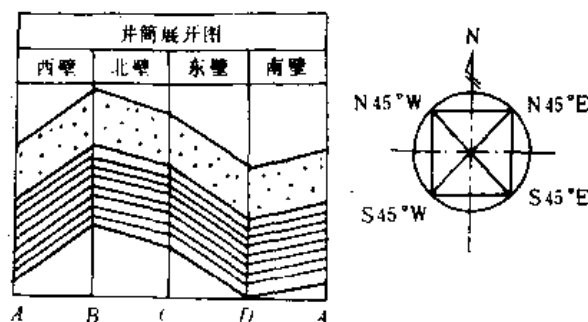


图 1 立井地质素描图(井壁展开图)

石门、斜井、岩石上(下)山地质素描图 地质构造简单时，只编录一帮或顶(或底)的素描图；地质构造复杂时，则绘制两帮与顶或两帮与底的素描图(图 2)。

**岩巷地质素描图** 地质构造简单或岩巷沿同一层

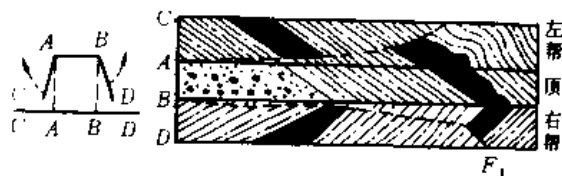


图 2 石门地质素描图(一顶两帮展开图)

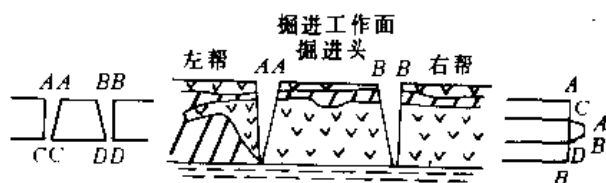


图 3 岩巷地质素描图(一头两帮展开图)

位掘进时,一般每隔20~50m编录一个掘进工作面掘进头;发现有地质构造时,再加密;地质构造复杂或岩巷穿层掘进时,编录一帮素描图或素描展开图(图3)。

煤巷地质素描图 ①对于巷道能够揭露全厚的倾斜和缓倾斜煤层,当煤层稳定时,只需实测煤层小柱状(图4);当煤层不稳定时,则编录一帮素描图。②对于巷道能够揭露全厚的急倾斜煤层,当煤层稳定时,只需

实测煤层小柱状;煤层不稳定时,则编录掘进工作面掘进头并据此编绘出巷道顶帮水平切面图(图5)。

③对于巷道不能揭露全厚的倾斜和缓倾斜厚煤层,第一分层的煤层巷道作一帮素描图。④对于巷道不能揭露全厚的急倾斜厚煤层,则编录煤门一帮素描图和必要的掘进头断面,并据此编绘巷顶水平切面图(图6)。

钻孔地质编录 (见地质编录)。

综合地质研究 曾称综合地质编录,依据原始编录及其它地质资料编制反映矿井总体或局部地质情况及相互关系的各种综合地质图件及文字说明。

综合地质图件 包括矿区必备的综合地质图件、矿井必备的综合地质图件和矿井必备的生产用地质图件三大类。

矿区必备的地质图件 包括矿区地层综合柱状图、矿区煤系综合柱状图、矿区煤(岩)层对比图、矿区地形地质图或基岩地质图、矿区主要地质剖面图、矿区或区域地质构造纲要图、矿区主要可采煤层底板等高线图等。

矿井必备的地质图件 包括矿井煤系综合柱状图(比例尺为1:200~1:1000)、矿井煤(岩)层对比图

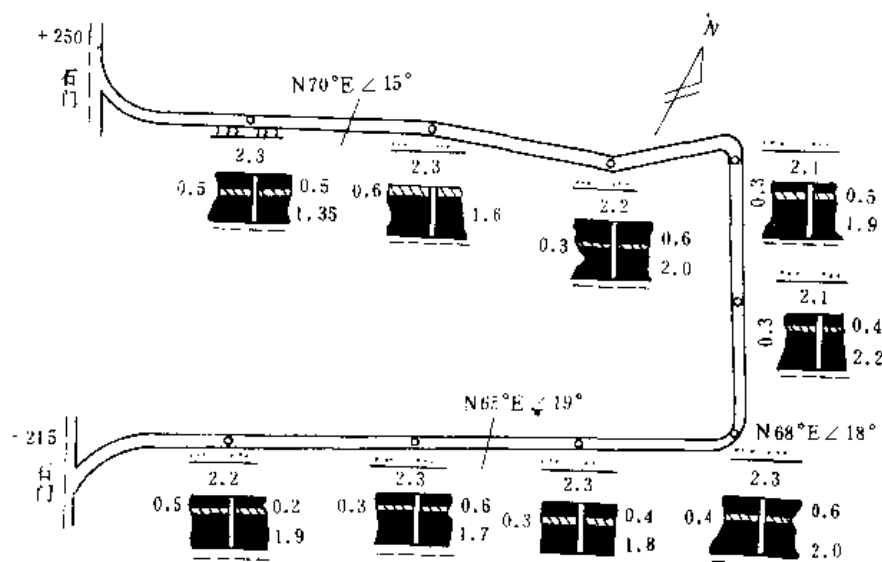


图4 煤巷观测点地质素描图

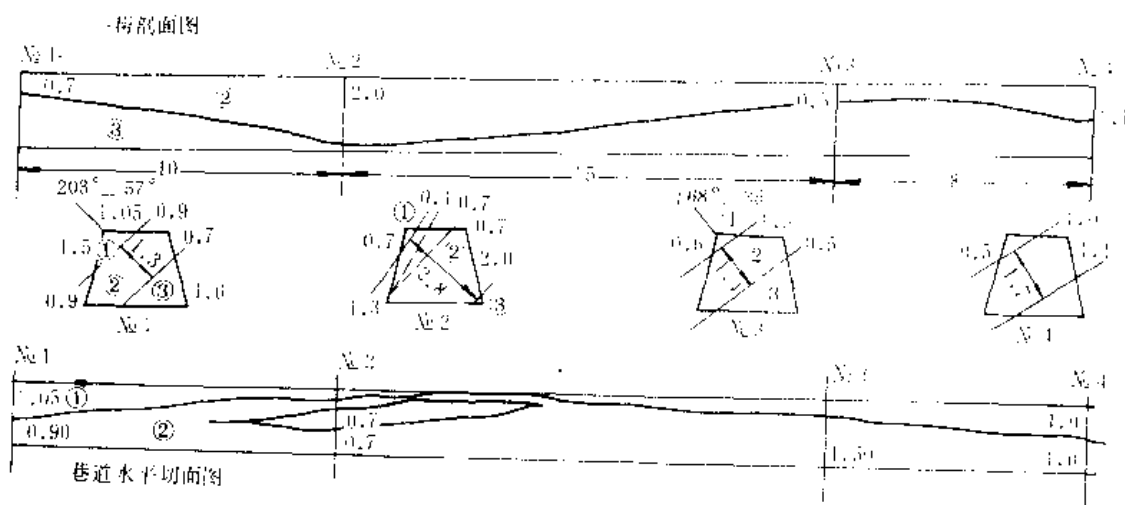


图5 煤巷一帮剖面图及巷顶水平切面图

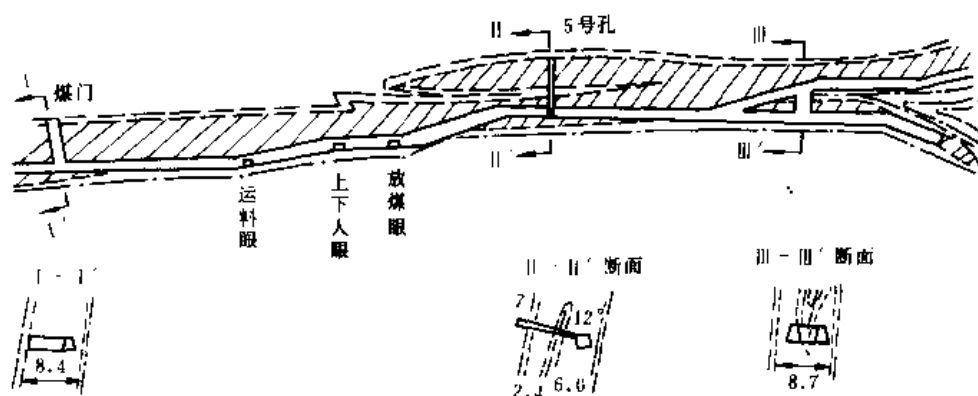


图6 煤巷巷顶水平切面图

(比例尺为1:200~1:500)、矿井地形地质图或基岩地质图(比例尺为1:2000~1:5000)、矿井可采煤层底板等高线及储量计算图(急倾斜煤层加绘立面投影图)(比例尺为1:2000~1:5000)、矿井地质剖面图(比例尺为1:1000或1:2000)、矿井水平地质切面图(适用于煤层倾角大于25°的多煤层矿井)(比例尺为1:1000或1:2000)等。

矿井必备的生产用地质图件 包括采区煤层底板等高线图(急倾斜煤层加绘立面投影图,比例尺为1:1000或1:2000)、采区水平切面地质图(单一煤层或缓倾斜煤层除外,比例尺为1:1000或1:2000)、采区地质剖面图(比例尺为1:1000或1:2000)等。

矿井综合地质图件一般都随原始地质编录资料和其它地质资料的不断积累及时加以补充修改。

随着电子计算机在煤矿中的应用,矿井地质编录资料也逐步实现计算机管理。国外一些主要产煤国家,均建有地质资料数据库和用计算机绘制图件。国内有条件的矿井也已开始建立地质资料数据库,素描图绘图软件也正在开发和系统化,实现计算机绘图已为期不远。

### 参考书目

柴登榜等,《矿井地质工作手册》上册,煤炭工业出版社,1986。

龙荣生,《矿井地质学》,煤炭工业出版社,1991。

(赵宗沛)

## kuangjing dizhi gouzao

### 矿井地质构造 (mining geological structure)

井田边界及其范围内的褶皱、断层、节理和层间滑动等地质构造的统称。它不仅决定矿井范围内煤层在空间的产状,破坏煤层连续性,而且也控制井巷和采场围岩的稳定性,并往往成为发生矿井突水、煤和瓦斯突

出的前提。矿井地质构造是煤矿地质机构调查研究的最主要内容。

**分级** 按地质构造规模的大小和对煤矿生产的不同影响,地质人员常把矿井构造分为大型、中型、小型三级。

**大型构造** 决定井田划分或井田总体构造的断层和褶曲。这些地质构造在地质勘探阶段已经查明,它们对生产的影响在矿井设计中已经确定,一般对采掘不构成直接影响。

**中型构造** 决定采区布置的褶曲或断层。它们在勘探阶段查明程度不等,常需在采区设计前或采区开拓过程中加确它们的位置和规模。

**小型构造** 在巷道施工或煤层开采过程中遇到的小褶曲或断层。其中,有的可以随巷道揭露即可查明它们的性质、产状和规模;有的需要运用坑道钻探予以查明。它们对采掘影响大,常常打乱计划进度,是矿井地质研究的重点。

**类型** 常见的地质构造有褶皱、断裂和层间滑动构造。它们有各种分类和命名。

**褶皱构造** 基本类型为向斜(褶皱面向下弯曲,两翼地层相向倾斜,核部为较新地层,翼部为较老地层)和背斜(褶皱面向上弯曲,两翼地层相背倾斜,核部为较老地层,翼部为较新地层),多数由地壳表层受挤压形成。①根据轴面和两翼产状的不同,可分为直立褶皱、斜歪褶皱、倒转褶皱和平卧褶皱等(图1)。②根据上下岩层是否平行可分为平行褶皱、相似褶皱和不协调褶皱等(图2)。③根据褶皱轴的长短又可分为线状褶皱和短轴状褶皱(图3)。

**断裂构造** 岩石受力超过其强度极限所发生的破裂。它包括节理和断层两类。①节理。岩石沿断裂面两侧没有发生明显位移的断裂。②断层。岩石沿断裂面两侧发生明显位移的断裂。节理根据其其与岩层产状的关



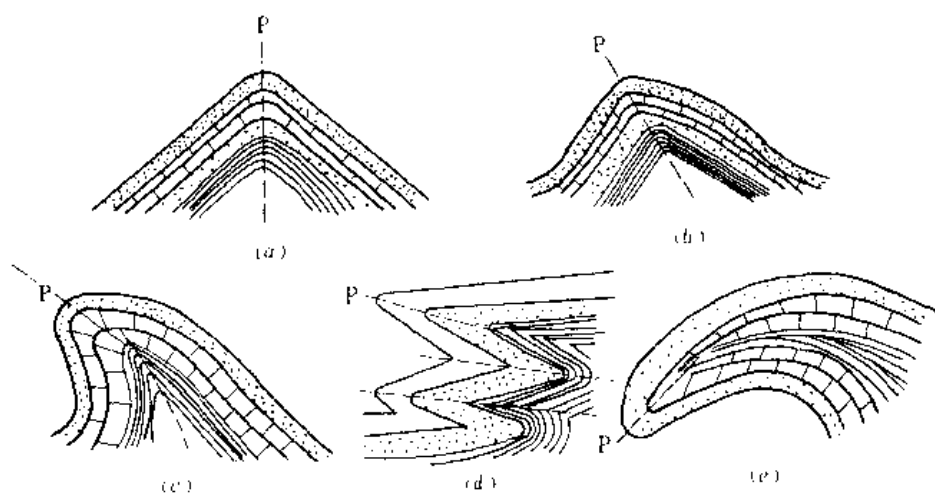
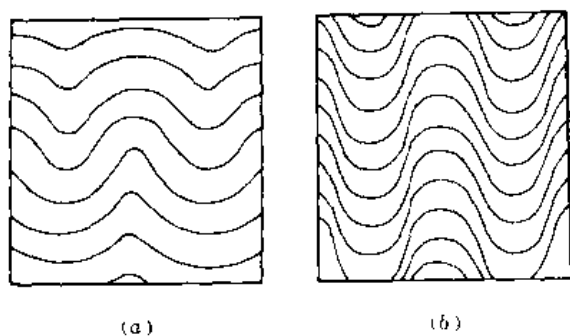


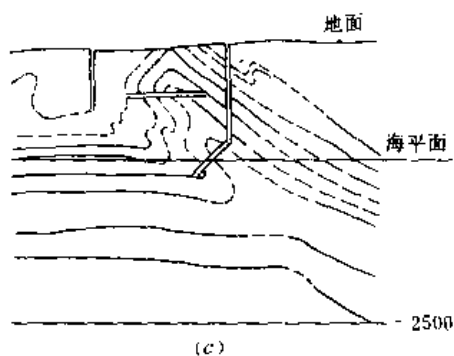
图1 根据轴面P和两翼产状对褶皱的描述

a—直立褶皱；b—斜歪褶皱；c—平卧褶皱；d—平卧褶皱；e—翻卷褶皱；P—轴面或轴迹  
(据余开礼等, 1984)



(a)

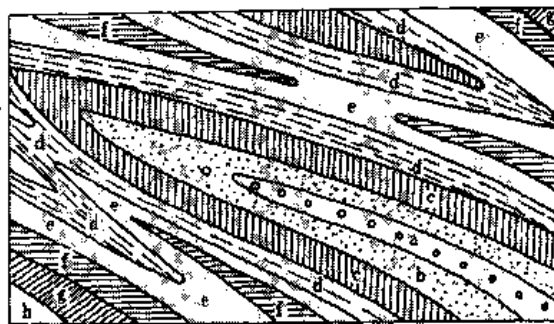
(b)



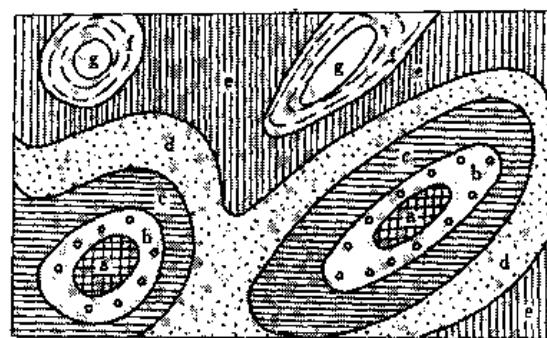
(c)

图2 褶皱剖面形态的描述

a—平行褶皱；b—相似褶皱；c—不协调褶皱；  
(图1. Л. Ажипей, 1966)



(a)



(b)

图3 褶皱平面形态的描述

a—线状褶皱；b—短轴褶皱（上部为构造盆地，下部为穹窿构造）；a~h—地层层序  
(据余开礼等, 1984)

系可分为走向节理（节理面走向与岩层走向近于平行）、倾向节理（节理面走向与岩层走向近于垂直）和斜向节理（节理面走向与岩层走向斜交）等三种（图4）。断层根据其于岩层产状的关系同样也可分为走向断层、倾向断层和斜向断层等三种。断层最常用的分类

根据上、下两盘岩体相对移动性质来划分，有正断层（上盘下降，下盘上升）、逆断层（上盘上升，下盘下降）和平移断层（两盘沿断层面走向作相对位移）等三类（图5）。断层根据组合形式还可分为阶梯状断层、抬斜断块、地堑和地垒、叠瓦状断层等等五种（图6至图

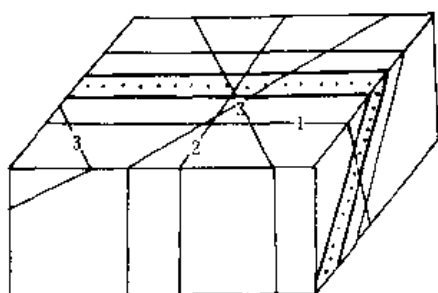


图4 根据节理产状与岩层产状关系的节理分类  
1—走向节理；2—倾向节理；3—斜向节理

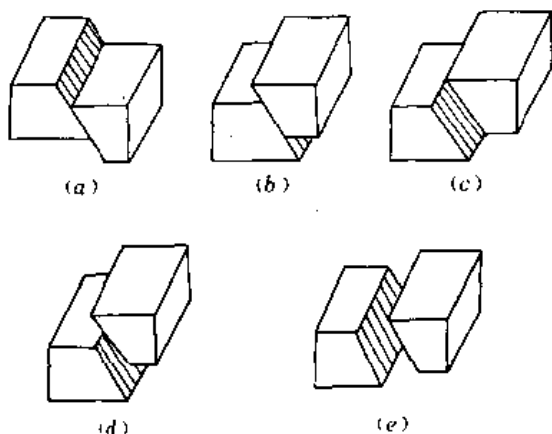


图5 断层按上、下两盘相对移动性质划分的类型  
a—正断层；b—逆断层；c—平移断层；  
d—平移逆断层；e—平移正断层

8)。断层根据形成时受力性质分为压性断层、张性断层、剪性(扭性)断层及其复合型的压剪性断层和张剪性断层等五种。

**特点** 矿井地质构造多数是含煤岩系形成后各期构造作用的产物。各矿区经历构造作用的性质不同,所产生的地质构造面貌也不一样。在伸展构造发育地区,正断层占绝大多数(图9);在挤压应力占主导地位的

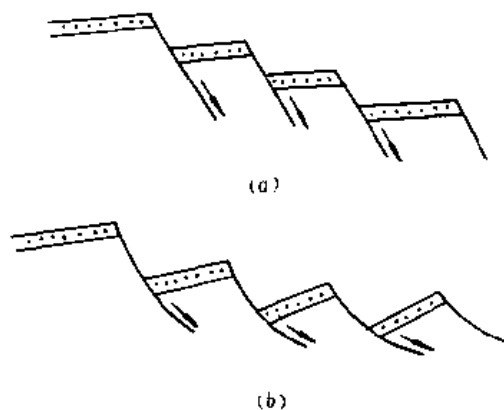


图6 阶梯状断层和抬斜断块  
a—阶梯状断层；b—抬斜断块

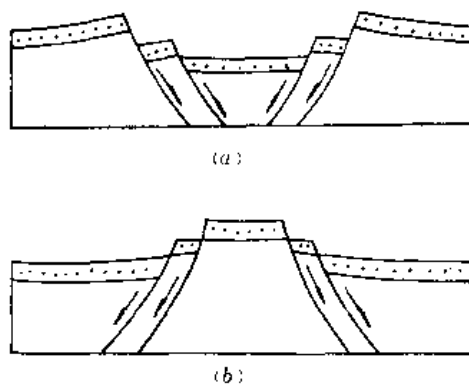


图7 地堑和地垒  
a—地堑；b—地垒

矿区,则常发育褶皱、走向逆断层和斜向平移断层(见图8)。当经历多期构造作用,而各期构造应力性质、方向又不相同时,井田内可以形成极为复杂的地质构造。煤层在含煤岩系中属软弱岩层,较厚的煤层在地层受挤压而发生弯曲褶皱的过程中,常发生沿顶、底板或煤层本身顺层滑动,煤层在顺层滑动中剪切变形,发生流变,使煤层厚度剧变,既有加厚也有变薄。在井下可见,层间滑动具有选择层位和岩性的特点;滑动面属构造不连续面,常为数厘米厚的软泥或压紧的粉煤;在滑动面两侧有时可见派生的褶皱或小断裂(图10)。

**展布规律** 矿井构造在空间显示某种程度的规律,主要包括等距性、成带性、共轭性和分区性等。

**构造等距性** 在相同构造环境下,相邻同级构造具有大体相等间

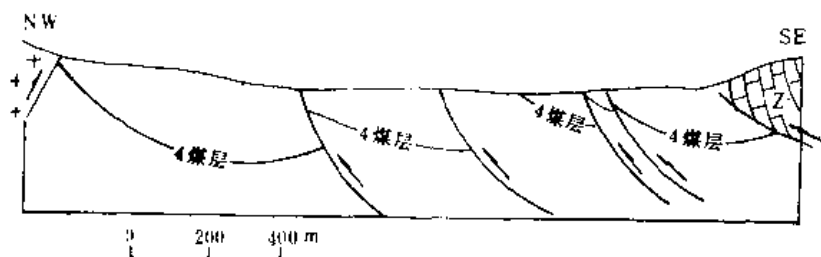


图8 叠瓦状断层  
(中国河北兴隆北马圈子剖面)

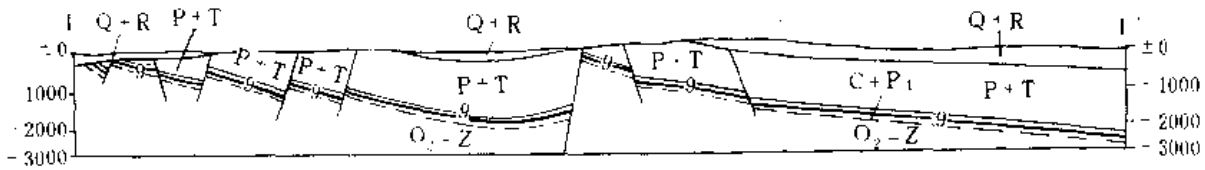


图9 中国河北峰峰矿区地质剖面图

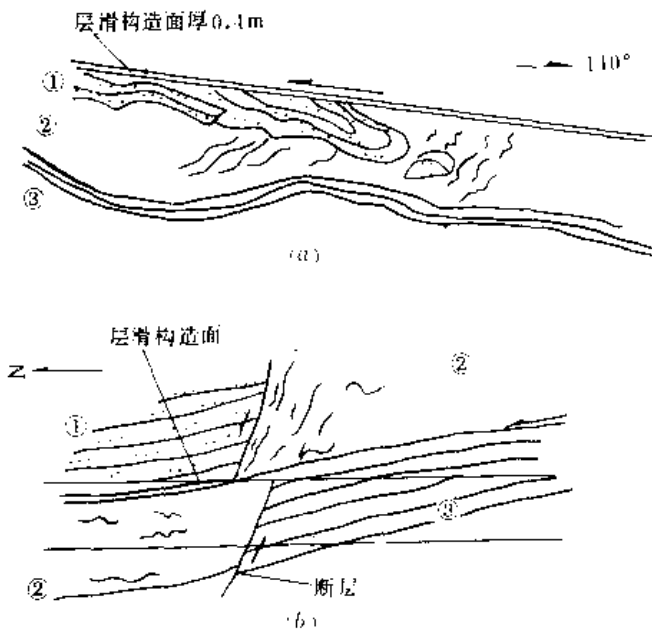


图10 中国安徽淮北海孜矿的层滑构造

a—1021回采工作面素描图；

b—1024回采工作面素描图；

①—煤层顶板砂岩；②—煤层；③—煤层底板泥质岩  
(据潘立文)

距的性质，有并列等距、雁列等距等。鉴于地层岩性的横向变化，实际仅隐约显示等距，而非几何意义的等距。

**构造成带性** 一些小型构造密集呈带分布于某些较大断层旁侧，或是位于两条较大断层之间。它们属于大断层位移时派生的小构造。

**构造共轭性** 两组不同方向的断层，在空间构成菱形或近正方形的网络。一组为右行平移断层，另一组为左行平移断层。

**构造分区性** 在一个井田内，地质构造复杂程度明显不同，有的水平或采区构造简单，适宜综合机械化开采；有的水平或采区构造极为复杂，小构造众多，不宜综采。这种分区性常与所处构造部位或煤层上、下的岩性组成有关。

通过总结矿井地质构造规律性，可以提高矿井地质工作的预见性。

**研究方法** 主要包括井下局部地质构造的观测、判断与处理和矿井构造预测两个方面。

**局部地质构造观测、判断与处理** 矿井地质日常工作内容，其数量多少取决于地质构造复杂程度。它们随巷道施工，与巷道地质编录同时进行。岩巷和煤巷均可遇到褶皱或断层，地质人员在进行实地观察时，根据地质构造知识和经验，判别它们的性质，测量其产状，计算断层的落差，标定它们的空间位置，并把所见地质构造测绘到巷道素描图和相应的巷道平面图上。有的构造现象仅凭观察难以确定其性质、规模，常常需用坑道钻探或巷探予以查明。在查明构造性质、产状、规模的基础上，根据其所在巷道的作用，确定并提出该巷道施工是否需要改变方向和坡度或停止施工等处理意见。

**矿井构造预测** 包括局部预测和区域预测两种。

(1)局部预测。针对所在巷道预测其前方可能遇到什么样的地质构造。它常常根据周围巷道已揭露的本煤层或邻近煤层的地质构造，按其产状与规模作图，将它们延伸到本区而实现预测。

(2)区域预测。根据对区域地质的了解和开采地段已揭露地质构造的分布规律，对井田内尚未开拓的采区或下一水平的地质构造复杂程度作出定性或定量预测。区域预测常常配合矿井规划进行。目前，区域预测一般先按照应力和应变的观点以及构造历史演化的观点，对地质构造的分布规律作定性解释，再配合构造指数、综合指数、构造等性块段指数、模糊综合评判法等各种统计方法，探索定量预测途径。

### 参考书目

徐开礼、朱志澄，《构造地质学》，地质出版社，1984。

П. Л. Ажипрей, «Стратиграфия геологии», Изд-во МГУ, 1966。

龙荣生，《矿井地质学》，煤炭工业出版社，1991。

(龙荣生 陆国桢)

kuangjing dizhi guicheng

矿井地质规程 (mining geological regula-

tion) 矿井地质工作的技术法规。它对矿井地质工作的性质、目的、任务、内容、技术方法和技术要求等作了明确的规定。它是建设标准化矿井的重要依据。

世界上,只有前苏联和中国制定并颁布了《矿井地质规程》。前苏联的《矿井地质规程》颁布于20世纪40年代。中国第一部《矿井地质规程》制定和颁布于1962年。该《规程》参照前苏联《规程》对矿井地质工作的具体内容和技术要求作了明确规定。1984年,中国煤炭工业部制定颁布了第二部《矿井地质规程》。该《规程》除对各个阶段矿井地质工作的内容和要求作出了明确规定外,还首次提出了中国矿井地质条件分类方案并进行了中国矿井地质勘探类型的划分。

1984年《矿井地质规程》共分八章77条,并有六个附录。其中,八个章的内容包括总则、矿井地质条件分类、矿井地质观测、矿井地质勘探、资料编录与综合分析、建井阶段的地质工作、矿井生产阶段的地质工作、其它开采技术条件和伴生矿床的地质工作。六个附录的内容包括矿井地质条件分类的有关说明、水平延深补充勘探设计编制提纲、水平延深补充勘探地质报告编制提纲、建井地质报告编写提纲、各种地质说明书编制提纲、矿井收尾阶段地质总结编写提纲。

(龙荣生)

## kuangjing dizhi kantan

### 矿井地质勘探 (mine geological exploration)

又称煤矿地质勘探,继煤田地质勘探(煤炭资源地质勘探)之后,从矿井建设开始,到煤炭开采结束期间所进行的全部地质勘探工作。

**分类** 矿井地质勘探按其目的之不同,分为建井地质勘探、矿井资源勘探、矿井补充勘探、生产勘探和矿井工程勘探等五类。

**建井地质勘探** 在矿井井筒开凿之前,为满足井筒、井底车场、硐室和主要运输大巷设计与施工需要而进行的地质勘探。其主要任务包括①布置与施工井筒检查钻孔,核实井筒剖面地质资料(见建井地质);②布置与施工层位控制钻孔,核实井底车场、硐室、主要运输大巷等开拓工程所在水平煤层与岩层的层位、分布、厚度、岩性和构造等地质条件(见建井地质)。

**矿井资源勘探** 为解决生产矿井煤炭资源问题而进行的地质勘探。其主要任务包括,①查明延深水平或新开拓区煤炭储量;②查明因重大地质、水文地质问题勘探程度不足而发生的矿井煤炭储量变化;③矿井扩大井田范围时,查明扩大区域的煤炭储量等。

矿井资源勘探根据矿井采掘工程设计的需要,针

对实际存在的地质问题而进行。它实际上属于煤田地质勘探(煤炭资源地质勘探)的范畴,是煤田地质勘探(煤炭资源勘探)的直接延续。两者的差别仅在于它主要由生产矿井负责完成或由生产矿井委托地质勘探部门完成。

**矿井补充勘探** 又称煤矿补充勘探,生产矿井为解决勘探程度不足问题而进行的地质勘探。其主要任务包括,①提高延深水平高级储量的比例;②解决矿井改扩建和开拓延深工程设计中存在的地质问题;③重新评定新发现或勘探程度不足的煤层等。

矿井补充勘探根据矿井设计部门的要求,针对存在的实际地质问题而进行。

**生产勘探** 为解决生产矿井采区内部影响正常生产的各种地质问题而进行的地质勘探。其主要任务包括,①查明采区内影响采煤工作面划分或采煤方法选择的地质构造形态、规模和煤层赋存状态;②解决采区内影响正常采掘和安全生产的各种地质、水文地质问题,查明巷道掘进中遇到的断层并寻找断失煤层,为巷道掘进指明方向,查明影响采煤工作面连续推进的各种地质构造、喀斯特陷落柱、煤层冲刷带、火成岩侵入体等的位置与分布范围以及它们对正常采掘工作的影响,圈定不稳定煤层的可采范围;查明采区内可采煤层的伪顶、直接顶、老顶的厚度、岩性、含水性以及各煤层间距变化情况,查明采区与老采区、小窑等的空间关系等;③查明采区内煤层可采性。

矿井生产勘探贯穿于煤矿开采的整个过程,是矿井地质一项经常性的任务。它应针对采区内存在的实际地质、水文地质问题而进行。

**矿井工程勘探** 矿井生产建设中根据专项工程的要求而进行的勘探。

**勘探手段** 进行矿井地质勘探时所采用的各种技术手段(方法和装备),主要有地面钻探、坑道钻探、巷探、地面物探、矿井物探、采样、测试、分析、鉴定等。

在矿井地质勘探中,应根据地质目的、经济效益以及各种勘探手段的特长,因地制宜地对其加以配置、组合选用,并应遵循物探先于钻探,井下钻探先于地面钻探,钻探先于巷探以及物探、钻探、巷探相结合的原则。

**地面钻探** 为矿井探明煤炭资源及地质情况或其它目的所进行的地面钻孔工程。主要用于建井地质勘探、矿井资源勘探、矿井补充勘探和矿井工程勘探,是提高延深水平或新开拓区勘探程度,查明重大地质、水文地质问题,满足某些专门工程设计和施工要求不可缺少的勘探手段(见煤田钻探)。

**坑道钻探** 又称地下钻探(见坑道钻探),在矿井的巷道或硐室内进行的钻探。主要用于生产勘探,探测

煤层、构造和探放水。

**巷探** 为揭露含煤岩系、采集煤样、探明地质构造或其它地质情况而开掘的平硐、石门、斜井、煤巷、煤门等井巷工程。主要在不具备钻探条件、钻探达不到预期地质效果，生产需要提前掘进巷道时采用。

**地面物探** 又称煤田物探，包括地震勘探、电法勘探、磁法勘探、重力勘探等。其中，以高分辨率地震勘探（见煤田地震勘探）的试用效果较好，在地形平坦的矿区，可查明落差大于10m的断层，并可反映落差5m的断点。

**矿井物探** 在矿井开采过程中，为在井下探查采区或工作面前方的小构造、煤层变化等而采用的各种物探方法。其中，目前采用较多的有槽波法地震勘探、矿井电法、无线电波透视法、地质雷达法、无缆测井、瑞利波地震勘探以及高频地震勘探、放射性勘探、红外遥感等（见矿井物探）。

（龙荣生）

kuangjing (keng) chongshui tiaojian

**矿井（坑）充水条件** (flooding condition of mine) 煤矿床开采中，地下水或地表水以不同形式和程度向井巷（或矿坑）涌入时，其充水水源、充水通道以及充水强度的统称。

**矿井（坑）充水** 指煤矿开采时，各种来源的水，通过各种方式流入矿井（坑）的现象。它一般由天然水文地质结构遭受采动破坏而引起。煤矿井（坑）充水条件受一系列天然因素和人为因素控制。正确认识煤矿井（坑）充水条件，是掌握煤田水文地质特征、指导煤田水文地质调查、计算矿井涌水量、预计矿井突水、进行矿井（坑）防治水害等工作的基础。

**充水水源** 矿井（坑）水的来源，包括大气降水、地表水、地下水和老窑水。

**大气降水** 指降雨、融雪。它们是地下水的主要补给来源。所有矿井（坑）的充水，都直接或间接地受大气降水的影响。

大气降水对矿井（坑）充水的作用，不仅取决于大气降水本身的特点，而且还受到地表入渗条件的制约，一般具有区域性、季节性、其影响随深度减弱等3种特征。

以大气降水为主要充水水源的矿井（坑），多分布在分水岭和分水岭斜坡上；煤系直接裸露于地表；或上覆松散层薄，透水性好；可采煤层距地表浅，大气降水易于渗透至煤矿井巷（矿坑）的地区。

**地表水** 煤矿床附近的江河、湖泊、水库、水塘等地表水体有可能是矿井（坑）充水水源之一。地表水构

成充水水源的前提是，①地表水体与矿坑的相对位置较近，这既指垂直距离，又指平面距离；②地表水体与矿坑之间的岩石透水性较好，包括这一间隔地段岩石的天然透水性及开采破坏后的透水性；③采煤方法对这一间隔地段岩石的影响较大。

**地下水** 煤层顶、底板岩层中的地下水，是矿坑最基本的充水水源。根据其对于矿井（坑）充水的作用，可分为直接水源和间接水源。前者是指井（坑）巷直接揭露或通过充水通道直接涌入矿井（坑）的水源；后者是指直接水源的补给水源。

煤系中地下水的类型有孔隙水、裂隙水、喀斯特水、断层破裂带水等。在中国，赋存于第三纪褐煤煤田中的矿井（坑）充水水源多为孔隙水。赋存于侏罗纪和华北二叠纪煤田中的矿井（坑）充水水源，一般为砂岩孔隙裂隙水。赋存于华北晚石炭世太原组及华南晚二叠世龙潭组煤田中的矿井（坑）充水水源多为碳酸盐岩喀斯特水。

**老窑水** 积存在废弃老窑、采空区或巷道和被淹井中的地下水。未与其它水源联通的老窑水的充水特点是：来势猛、时间短。

**充水通道** 地下水流入矿井（坑）的通道。通常，煤层顶、底板都是具有一定厚度的隔水层，充水水源要通过各种通道才能流入井（坑）巷。充水通道往往控制矿井（坑）的涌水形式、涌水地点和涌水量大小。

充水通道有天然的，也有采动后人为形成的。充水通道的形式有，①构造断裂，包括断层带、天然裂隙带和喀斯特发育带；②顶板冒落带与导水裂隙带；③底板采动裂隙；④喀斯特塌陷和陷落柱；⑤封闭不良的钻孔；⑥地面塌陷等。但是，并非所有上述通道都可使矿井（坑）充水。一般构成矿井（坑）充水的充水通道要具备两个条件，①这类通道本身是透水的，泥质充填胶结良好的断裂带或陷落柱就不会导水，有时，在同--矿区，同一断裂带或陷落柱，在不同部位，其透水性往往截然不同；②它们要与充水水源联通，冒落带、导水裂隙带、采动裂隙，如未扩展至充水水源，就不会让水涌入井（坑）巷，而且这类通道的透水性和导水程度往往随着采掘的延深而逐步变化。

**充水强度** 指涌入煤矿井（坑）水量的大小。影响煤矿井（坑）充水强度的因素，主要有充水水源类型、性质和规模，矿区水文地质构造类型与规模，充水通道的类型及其透水程度，水压大小等。煤矿区水文地质边界条件对矿坑充水强度具有控制作用。边界条件包括边界几何形态和边界性质。按几何形态煤矿区水文地质边界分为平面边界（周边界）和剖面边界（开采煤层上、下边界）。周边界控制井（矿）田充水岩层与区域

地下水的联系,决定侧向补给量;剖面边界控制开采煤层与其上部或下部充水水源的联系程度,决定纵向补给量。按性质,煤矿区水文地质边界可分为隔水边界和透水边界。前者包括隔水岩层边界和阻水断层边界;后者可由含水层、导水断层或地表水体等组成。

矿坑充水条件综合反映采矿工程与水文地质环境的相互关系,是一个动态概念,要通过研究开采前的天然水文地质特征,分析与预测随着采掘过程中人为工程地质作用的发生与发展,水文地质条件的变化,才能全面正确认识煤矿井(坑)充水条件。

**词源与沿革** 矿床充水这一专业术语来源于苏联20世纪40年代矿床水文地质学教科书,俄文为“обводнение месторождения”。50年代中国翻译的教材中,将此术语译为“矿床充水”。1962年中国出版的煤田水文地质学教材中,又把此术语定名为“煤田充水”。70年代则多改用“矿井(坑)充水”这一术语。

(沈文 胡丹九)

kuangjing (keng) paishui

**矿井(坑)排水** (mine drainage) 在矿井(坑)内敷设排水沟或排水管,使矿井(坑)水先汇集流入水仓,再自流或通过排水设施抽排到井(坑)口并引出矿区这一生产环节的总称。它是煤矿生产的基本环节。矿井(坑)排水系统不仅要排出矿井(坑)的正常涌水,而且还要排出矿井(坑)的高峰涌水。

**沿革** 中国早在2500年前,就已有矿井排水。湖北大冶铜绿山,春秋战国时期古铜矿遗址的考古发掘中,发现有采用竖井汇集地下水的储水仓,古巷道一侧敷设有排水木槽,还有轱辘、木瓢、木桶等排水用提升机械及用具的残品遗留。以后,随着采矿业的发展,又出现了双吊桶滑车提水法、牛皮包提水容器。至19世纪初期,开始采用汽泵抽汲矿坑水,随后采用离心式水泵排水。

**排水系统** 由排水沟、水仓、泵房、排水管路组成的排水设施。

**排水沟** 在涌水量不大的矿井内,一般在运输巷道一侧敷设排水沟;而涌水量特大的矿井,须采用专门的排水巷道。排水沟断面大小取决于涌水量,坡度选择与水中沉淀物含量有关。

**水仓** 供贮水和沉淀用的构筑物。大型及永久性水仓应设两个独立系统,以备轮换使用及清仓。水仓容量一般根据矿井正常涌水量确定。正常涌水量与最大涌水量或预计最大突水量相差很大的矿井,水仓容量应进行专门设计。水仓入口一般应设在井巷最低点。水仓前方设置沉淀池并经常清理,以保证水仓的有效容

积并减小水泵磨损。

**泵房** 保证矿井安全生产的关键设施。一般需设置三套排水设备,其中一套供正常运转,一套进行检修,另一套作为备用。大水矿更须如此。排水设备主要依据矿井涌水量、水的性质和泵站至地面的高度进行选择。露天矿选择排水泵时,除应考虑上述三个因素之外,还要考虑暴雨期的排水量。目前,中国矿井排水主要采用卧式离心泵;国际上大水矿区广泛使用潜水泵,它不怕水淹,不用设置大型泵房与基础,具有自吸能力,可以防爆并在地面遥控,基建投资少。泵房与井巷之间的通道,需设置向外开启的密闭门,用以防火、防水。

**排水管路** 将矿井(坑)水从矿井(坑)下排至地面的通道。管路规格根据排水量大小和水的性质选取。水量较大,服务年限较长的露天矿,一般设置两条管路,其中每一条都能单独排出正常水量。排水管路使用多年后,其内壁往往结垢,使过水断面缩小,需经常加以清理。

**排水方式** 进行矿井排水的程序和形式。

**矿井排水方式** 有直接式、逐级接力(分段)式、分区直通式、混合式等四种。

**直接式** 将水直接排至地面。一般适用于井下仅只有一个开采水平时。当井下有两个或多个开采水平,但深度不大时,可采用分水平直接式排水。当上开采水平涌水量微弱时,也可先将水汇入最低开采水平,再采用直接式排水方式将水排至地面。

**逐级接力式** 适用于多水平开采和深度较大的矿井(坑)。先将最低开采水平的水排至上一开采水平,再由上一开采水平将水排至更上一开采水平,直至排出地面。这种排水方式的排水系统控制比较复杂。

**分区直通式** 排水系统由分散在井田范围内的多个直径大于1m的排水井组成,通过下入的潜水泵排水。根据矿井涌水特点,可分别选用同开采水平分散排水或下开采水平直通式排水。这是近几年来在大水矿区新采用的排水方式。

**混合式** 兼用多种排水方式。当某一开采水平为具有腐蚀性的酸性水,而其它开采水平的水为非酸性水时,可用直接式排水方式将该开采水平的酸性水直接排至地面,而其它开采水平的水则采用分段接力式排水方式排至地面。

**露天矿排水方式** 有自流式、坑底集中式、分段截流式和井巷式等四种。

**自流式** 适用于山坡型露天矿,具有自流排水的条件,管理简单。

**坑底集中式** 适用于汇水面积小、水量小的中小

型露天矿,或开采深度浅、下掘速度慢的,或干旱区的大型露天矿。将水汇集坑底,再由半固定式或移动式泵站排至地面。

**分段截流式** 适用于汇水面积大、水量大的露天矿,或开采深度大、下掘速度快的露天矿。最低工作水平设置临时泵站,其它工作水平分散设置永久泵站,使上工作水平的水不往下工作水平流,坑底积水少,开拓和开采作业条件好,但基建工程量大。

**井巷式** 适用于水量大且深部有井井巷道可供利用的露天矿。将水汇入矿井巷道,再排至地面。其开采作业条件好,但基建投资大,基建时间长。

(李金凯)

### kuangjing (keng) yongshuiliang

**矿井(坑)涌水量** (mine inflow) 在开拓及开采过程中,单位时间内流入矿井(坑),包括井筒、巷道和开采系统的水量,其通用单位为 $\text{m}^3/\text{d}$ 、 $\text{m}^3/\text{h}$ 或 $\text{m}^3/\text{min}$ 。它是确定矿井(坑)充水条件的重要定量指标,对矿床的技术经济评价有很大影响,是开采设计部门制订防治水措施、选定矿井排水设备及生产能力的主要依据。

一般说来,矿井(坑)涌水量是一个变量。它不仅取决于天然水文地质条件,而且还与气候、采掘深度与范围,因采掘而引起的人为工程地质作用对岩层的破坏程度,以及疏干排水的影响有关。由于上述因素许多是变化的、未知的、或难于预先确定的,因此,矿井(坑)涌水量预测必须根据矿井(坑)充水条件,结合矿井(坑)开拓方案,充分考虑采动后自然流场的变化特征,合理选择预测方法与参数。同时,还要随着采掘进程,根据观测资料经常修正计算模型,才能使预测矿井(坑)涌水量逐渐趋于与实际相符。

**种类** 根据地下水流入场所的不同,矿井(坑)涌水量又可细分为井筒涌水量、矿井(坑)总涌水量、开采水平涌水量、采区涌水量、巷道涌水量、疏干工程涌水量等。精查阶段主要预测第一水平最大和正常涌水量以及矿井(坑)最大和正常总涌水量。

**正常涌水量** 指平水期(或枯水期)保持相对稳定的矿井(坑)涌水量。

**最大涌水量** 矿井开采期间,正常情况下矿井涌水量的高峰值。主要与人为条件和降雨量有关。

**疏干工程涌水量** 又称疏干流量、疏干工程排水量,是指在规定疏干时间内将充水含水层的地下水位降到某一安全深度(疏干降深)时,所必需的恒定排水强度。

**预测步骤** 涌水量预测一般要建立水文地质模

型,包括建立概念模型、数学模型和解算模型并对成果进行分析评价等三个步骤。

其中,以建立符合客观实际的水文地质概念模型最为关键。为此,要尽可能查明充水条件,特别要用发展观点,分析在开采条件下,地下水系统补给、径流和排泄特征的变化,正确确立计算边界,并获得主要充水岩层具有代表性的水文地质参数。对充水条件复杂的大水矿床,建立一个可靠的水文地质模型,需经历建立“雏型”、建立“校正型”和建立“预测型”三个阶段。第一阶段,通过详查工程所获资料进行矿床水文地质条件概化,提出水文地质模型的“雏型”,它可作为大型抽(放)水试验设计的依据;第二阶段,根据精查工程所提供的各种信息,特别是大型抽(放)水试验资料,建立水文地质模型的“校正型”;第三阶段,根据开采方案和已知疏干工程的内边界条件,预测未来开采条件下外边界的变化规律,建立水文地质模型的“预测型”。

根据具体充水条件和所获得的资料,建立与概念模型相符的数学模型,正确选择计算方法。矿井(坑)涌水量预测数学模型有,①非确定性模型,包括经验方程(比拟法)、涌水量—降深曲线方程和回归方程;②确定性模型,它又可分为非渗流型或水均衡法与渗流型两种,后者包括解析解(含稳定流解与非稳定流解)和数值解(含有限元法与有限差分法);③混合型模型。

当解算结果不合理时,应认真分析其原因,或修改概念模型,或修改参数,或选用更符合实际的计算方法重新解算,直至合理。

**预测方法** 主要有水文地质比拟法、涌水量—降深曲线法、涌水量相关分析法、水均衡法、涌水量解析法、涌水量数值法等。

**水文地质比拟法** 利用矿井(坑)充水条件相似、开采方法基本相同的生产矿井(坑)的排水资料,预测新矿井(坑)的涌水量。利用生产矿井(坑)单位涌水量(单位水位降深和单位开采面积的平均涌水量),预测新矿井(坑)、本矿井(坑)延深水平或新采区的涌水量。这一方法的前提是,新、老矿井(坑)的条件要基本相似,且老矿井(坑)有长期水量观测资料。一般说来,它适用于水文地质条件比较简单、充水岩层透水性比较均一的孔隙或裂隙充水矿床。而且,新、老矿井(坑)最好处于同一个或相邻的水文地质单元内。生产矿井(坑)涌水量随开采深度和开采面积或其它比拟因素增加的关系,既可以是线性的,也可以是指数性的,应根据实践经验和生产矿井(坑)资料,通过分析影响因素,建立适合预测区的比拟公式。

**涌水量—降深(Q-S)曲线法** 利用勘探阶段或



生产矿井的抽(放)水试验数据,建立涌水量与降深关系的曲线方程,据此预测井筒、矿井(坑)开采水平或开采地段的涌水量。这种方法实质上是以稳定井流为基础,根据试验阶段与未来开采阶段水文地质条件的相似性,通过外推 $Q-S$ 曲线来预测涌水量。

涌水量与降深关系曲线方程的形态,不但与含水层的介质性质、补给条件有关,而且取决于抽水延续时间和抽水强度。它的形式很多,常见的有直线型、抛物线型、幂函数曲线型和对数曲线型。不同类型的 $Q-S$ 曲线方程反映不同的水文地质条件。直线型一般出现在承压含水层或潜水含水层,当水位降深与含水层厚度相比很小,地下水呈层流状态条件。抛物线型出现在对富水性强的含水层进行强烈抽水时,抽水井附近或大裂隙等强径流通道附近呈紊流的情况下。幂函数曲线型和对数曲线型一般在含水层规模小,补给条件差的条件下出现。实际上,随着降深的加大,影响范围的扩展,同一条 $Q-S$ 曲线的不同线段,往往呈现不同的函数形式。因此,应用这一方法,要求试验抽(放)水条件应与未来开采条件近似,曲线外推不能太大。

**涌水量相关分析法** 利用矿井(坑)涌水量与主要充水因素之间的统计规律性,建立相应的回归方程来预测涌水量。其优点是可以避开那些难以确定的充水岩层的水文地质参数以及没有完全解决的矿井(坑)充水机理问题。但首先,这一方法要以定性的机理分析为基础,所建立的方程要正确反映充水条件,不能单凭数学推导和检验;其次要有足够的数据和较长的数据系列,或者说,这一方法主要用于内插,只有在水文地质条件和充水机理基本清楚的前提下才可适当外推,因为统计数据以外的关系形式没有资料依据。

这一方法主要适用于一些非均质程度高的岩溶充水矿床以及以大气降水为主要充水水源的矿床。

**涌水量水均衡法** 根据水均衡原理,通过研究某一时(均衡期)矿区地下水各均衡要素(补给量、消耗量和储存量)之间的关系,建立地下水均衡方程,来预测开采地段涌水量。因此,查明矿区范围内地下水补给、排泄条件,确定这些条件在采掘与疏干过程中将要发生的变化,合理确定均衡项目和取得各均衡项目长期观测数据,是水均衡法应用的前提。

在实际工作中,往往难于准确确定与观测地下水的各个均衡要素,致使这一方法不能普遍应用。

对于具有独立水文地质单元,且地下水的形成条件比较简单的露天矿场,或开采浅部煤层的巷道系统,采用水均衡法预测涌水量能获得较好的效果。位于大气降水补给地段、分水岭地段、小型自流盆地的矿床都可以用这一方法预测其涌水量。对补给来源有限的矿

床,均衡法可作为核对解析法、数值法和类比外推法计算结果的一种补充性计算方法。

**涌水量解析法** 根据地下水动力学原理,用数学分析方法,对一定边界条件和初始条件下的地下水运动,建立定解公式,应用这些公式来预测矿井(坑)涌水量。这是矿井(坑)涌水量预测中应用最广的一种方法。它适用于各种类型的井(坑)巷系统和专门性疏干系统的涌水量计算,还可用于预测疏干水位、疏干范围和疏干时间。

在矿井(坑)涌水量计算中,最常应用的是井流方法,即把井(坑)巷系统、疏干系统看作是大井,而把从这些系统排水的过程,视为地下水流向大井的过程。

用稳定流解析法或非稳定流解析法预测矿井(坑)涌水量,要根据具体矿区实际水文地质条件,预测矿井(坑)充水条件的变化和生产要求选定。

应用解析法的基本要求是,①边界条件应是无限边界或是通过映射方法能够转化为无限边界的条件,边界是定水头边界或隔水边界,边界呈规则直线;②含水层是均匀介质。而实际水文地质条件往往十分复杂,必须在不歪曲原始条件的前提下,对矿区水文地质条件进行巧妙的概括和简化,或作适当的处理,以满足解析法公式的要求。

参数的选用直接影响矿井(坑)涌水量的预测精度,要分析试验测定值是否符合计算公式要求,还要考虑试验测定条件与未来矿井(坑)实际涌水条件的差异,科学地、实事求是地进行评价。

**涌水量数值法** 用离散化方法求解数学模型微分方程近似解的方法。它能确定复杂非均质、复杂边界条件下的矿井(坑)涌水量。用数值法解地下水问题的过程,就是把渗透区分成有限个单元,并将这些单元内的水头函数近似地看作线性函数,借助有限差分法或有限元法,将地下水连续方程转化成有限个线性差分方程组或泛函极值线性方程组,然后用电子计算机解出这些方程组。只要给定边界条件、初始条件和水文地质参数等,就能计算出渗流区内各结点处的水位变化。当参数或边界条件未知时,可先假定一组初值来解模拟方程,验证计算水位变化与抽(放)水试验的实际观测资料是否一致。不一致,则修改边界条件和含水层参数,反复调试,直到基本一致为止。最后,利用调试满意的参数和边界条件进行矿井(坑)涌水量预测。

数值法用于预测矿井(坑)涌水量优点是,①能模拟矿区复杂的水文地质条件和流动条件;②能通过对大型抽(放)水试验的动态拟合,求出水文地质参数,验证水文地质模型;③能对矿区不同区段进行水量计算,模拟矿床地下水疏干过程和预报地下水水位和疏



干量。

矿井(坑)涌水量预测还有一些其它的方法。当矿区水文地质条件过于复杂,含水层为非均质和各向异性、具多层结构以及边界形状不规则时,用解析法或数值法难于预测涌水量,可采用模拟法,主要是电模拟。该法是基于渗流与电流的相似性。而在一些以大气降水为主要充水水源的矿区以及一些喀斯特管道充水矿床,则常使用集中参数系统方法,即黑箱理论法。

(沈文 胡升九)

## kuangjing shugan

### 矿井疏干 (dewatering depressurization of mine)

又称疏干降压,采用排水设施主动降低矿井地下水水位或水压的一种防治水措施。其作用是形成降落漏斗,防止采掘区突水;保证巷道、矿坑与边坡稳定性;提高采掘机械效率与劳动生产率。

在20世纪三四十年代,疏干一词在国际上仅指疏排已经流入井巷中的水,即井巷疏干。由于现代采矿要求高效、连续、安全生产,尤其是深井泵、潜水泵、大功率钻进设备的出现,使截夺即将流入(矿坑)井巷的水成为可能,从而逐渐发展成矿床疏干,成为一种积极的防治水措施。

**基本要求** ①使采掘区充水含水层的水位(水压)降至安全水头或实现干式采矿。②疏干造成的环境破坏不超过允许范围。③经济合理与技术可能。

因此,采取矿井疏干措施以前,要作必要的论证,甚至专门勘探;疏干设计要多方案对比,疏干系统应最优化;对疏干过程要作监测。

**疏干阶段** 根据疏水设施修建时间与采掘时间的关系,矿井疏干可分为预先(或超前)疏干和平行(或伴随)疏干两个阶段。

**预先疏干** 指在水文地质条件复杂或很复杂的矿区,在采掘工程揭露或靠近充水含水层以前进行疏干,以使地下水压或水位预先全部或部分降低。预先疏干的超前时间,根据地下水浸润线形成期限的计算成果确定。疏水设施一般布置在井巷范围以外。

**平行疏干** 指在矿床开采期间进行疏干。当矿区水文地质条件复杂时,平行疏干紧跟在预先疏干之后进行,成为疏干的第二阶段,使预先疏干后的地下水水压或水位进一步降低。

**疏水设施** 指降低水位的设施,它包括明排水沟、降低水位孔、吸水孔、过滤孔、过滤设施、降低水位井(或放水孔)、疏水井、疏水孔、反渗透帷幕等,主要根据疏泄岩层的渗透性能确定(图1)。

**垂直降低水位孔** 最常见的疏水设施,在疏水孔

中安装潜水泵。这种设施一般适用于渗透系数不小于2~3(有时1~2)m/d的砂、砾、半坚硬岩石和坚硬岩石。这种疏水孔一般布置在疏泄含水层底板标高低、裂隙或喀斯特发育地段以及蓄水的构造破坏带。

**吸水孔** 在水文地质条件有利地区,可采用吸水孔或直通式过滤孔。吸水孔布置在两个含水层中,其中一个(上部)含水层的地下水被疏泄,另一个(下部)含水层吸收被疏泄出的水。这时,吸水含水层的渗透性应强于被疏泄含水层的渗透性。

**直通式过滤孔** 垂直钻孔,其底部一直通到专用疏水巷道。疏泄出的水沿直通式过滤孔先流进巷道,然后输入水仓。降低水位孔可改装成直通式过滤孔。

**轻型针状过滤设施** 用于疏干渗透系数1~50m/d的砂类土,可使潜水位降低3.5~4.5m。这种设施一般是,借助放置在地面的自动吸水泵,吸出埋在上中的针状过滤器里的水。针状过滤器间距0.75~1.50m,通过软管与集水管连接,集水管与水泵相联。

**真空化针状过滤设施** 在疏干渗透系数为0.01~1.0m/d的砂类和亚砂类岩层时采用。水位降低深度达6~7m。

**喷射真空针状过滤设施** 在层状含水层中,喷射器与同心过滤器组合,可保证喷射器形成的真空扩展至整个含水层。水位降低深度达20m。

**电渗降低水位设施** 在疏干渗透系数为0.1~0.001m/d的流动状态的粘土和亚粘土时采用。其原理是,在电场中弱结合水向负电极移动。

在有些情况下要采用水平疏水装置,其疏水能力和水位降深都比上述垂直疏水装置优越。

**水平疏水孔** 疏水钻孔从露天矿边坡沿水平方向钻入需疏泄岩层深部。在砂或砂砾类岩石中,当隔水层呈水平或微倾斜埋藏时,水平孔可用作主要或辅助疏水工具。在露天矿非工作帮,水平孔可和水平管状疏水沟组合布置。

**放射状疏水孔** 指在垂直井筒(或钻孔)中钻进的放射状水平钻孔。

在地下巷道中布置的疏水设施有打入式过滤装置和仰向孔、超前水平式和仰向倾斜式疏水孔、降低水位井,等等。

**打入式过滤装置** 用于疏干砂、亚砂和砂砾类岩石,或降低其水压。它们打入巷道顶板深度不大(不大于10~15m),过滤器间距2~30m。

**仰向孔** 深度可达100m以上,结构较复杂。用于疏干一层或多层含水层。

**超前水平式或仰向倾斜式钻孔** 布置在坚硬或半坚硬岩石中,用以预防构造破坏带、裂隙或喀斯特带中

的水突入巷道。

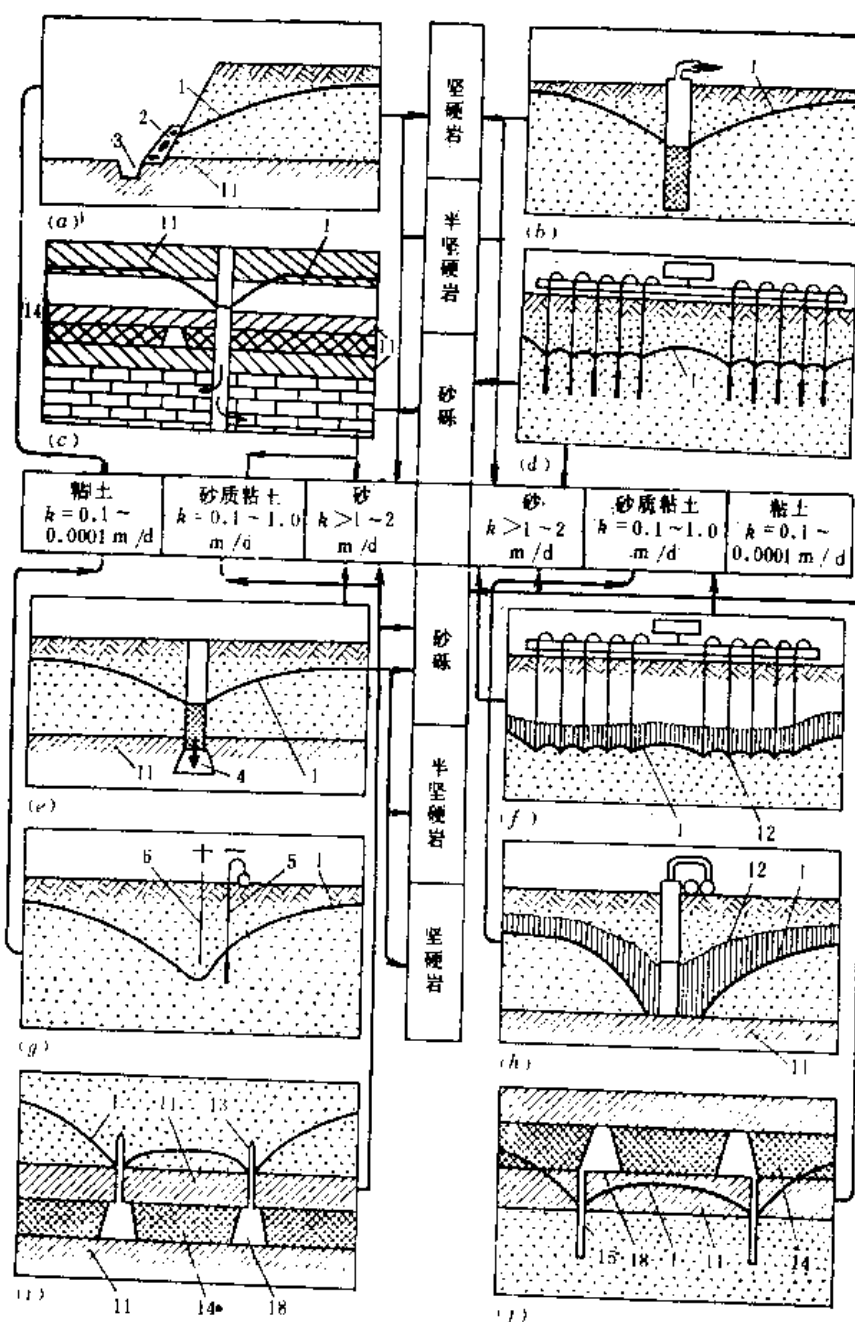
**降低水位井** 用于降低巷道底板疏松及疏松胶结含水层的水压(水位)。它布置在底板低凹处,可保证水位降深和影响半径最大。放水孔也是一种降低水位井,中国多采用这种设施降低坚硬含水层的水压。

**反渗透帷幕** 近年来,少数矿区为防止巷道突水,保护地下水不枯竭、不遭受污染,维持其天然渗流动态,在需疏干巷道或防护区周围修建。这种不渗透或弱渗透围堰范围内的水或流入的残余水,用沟道或降低水位设施排走。反渗透帷幕的主要技术要求是,①封闭式。帷幕要延深到含水层隔水底板;②渗透系数小,临

时帷幕的渗透系数小于或等于  $10^{-2}\text{m/d}$ ;永久性帷幕的渗透系数小于或等于  $10^{-4}\text{m/d}$ ;③渗透性与强度均一,在使用阶段不变;④能耐地下水侵蚀,不受被防污染物的影响。反渗透帷幕按构筑方式可分为沟槽式和钻孔注浆式。沟槽式帷幕用钻进法、锯槽法或抓斗开挖法成槽。槽中的填充料有整体混凝土、水力工程混凝土、粘土、粘土水泥浆液、粘土化槽沟土、不透水薄膜等。

**疏干方式** 矿区疏干方式分为地表疏干、地下疏干和联合疏干等三种。

**地表疏干方式** 在地面修建疏水设施,于采掘前



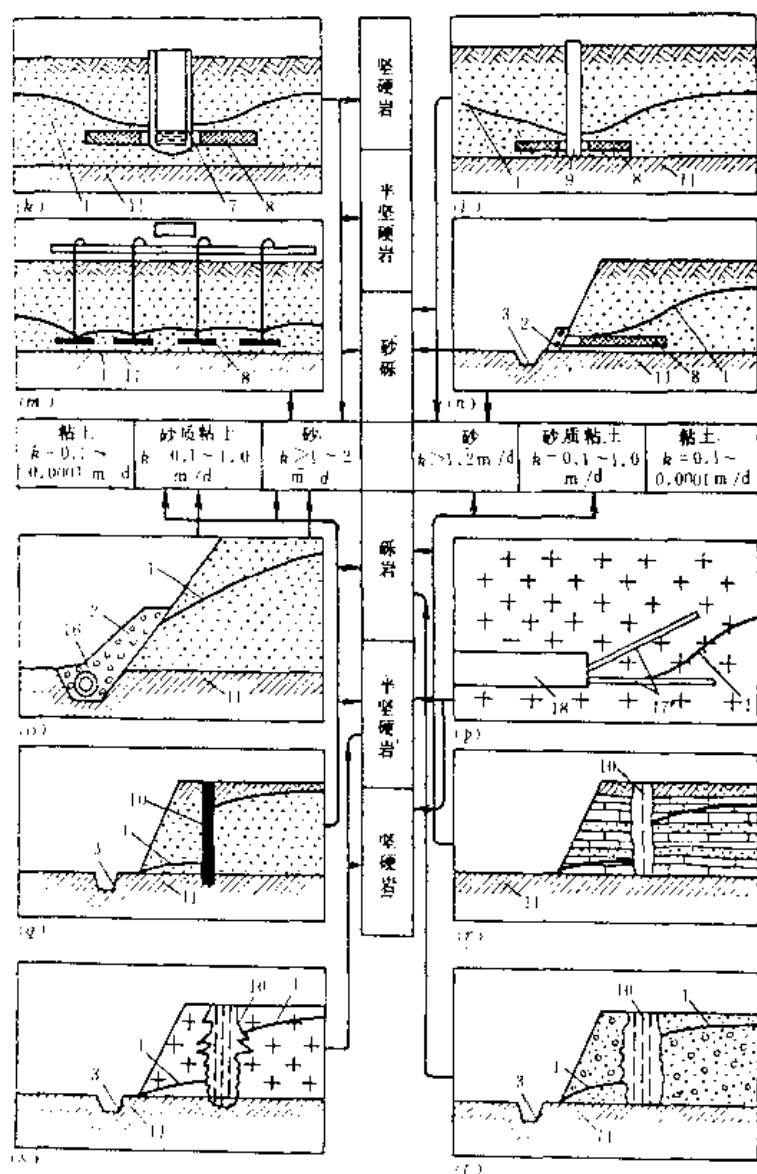


图1 疏水设施类型及其有效示意图

(据 H. A. Чарченко, 1984 修改)

a—明沟排水；b—降低水位孔；c—吸水孔；d—砂质砂质过滤器；e—垂直式过滤器；f—真空化射状过滤器；g—电渗；h—真空化射状设施；i—打入式过滤器或射状孔；j—降低水位井或排水孔；k—放射状排水孔；l—放射状排水孔；m—水平式射状过滤器；n—放射状水平排水孔；o—放射状水平排水孔；p—沿道超前水平排水孔和定向排水孔；q—垂直式排水孔；r—垂直式排水孔；s—砂质砂质过滤器；t—砂质砂质过滤器；1—降落面；2—边坡稳定重量；3—集水井；4—排水管道；5—射状过滤器（明孔）；6—过滤器（明孔）；7—井筒；8—水孔；9—垂直孔；10—管井；11—排水层；12—真砂层；13—打入式过滤器（明孔）；14—煤层；15—降低水位井或排水孔；16—管状排水孔；17—水孔过滤器；18—管井

在地面预先降低地下水位。它可在短期内建立安全采掘条件。这种方式机动灵活，既可根据水文地质条件变化及采掘流程，选用或改变疏水设施，控制降低水位过程，又能利用疏出的地下水防止水质污染，而且比较经济。然而，其疏水设施的平面布置分散，扬水设备数量多，常要随剥离带或巷道、采区的推进而拆卸、处理

及重新修建，管理与施工复杂，潜水泵常易损坏，抽水机组利用系数低，常要修建大量后备疏水设施，这些是这一方式的本质缺点。

地表疏干一般用于建设阶段或开发的第一阶段，但也可用于整个开采阶段。露天矿大多采用这种方式。

地下疏干方式 指在地下修建疏水井筒、排水设

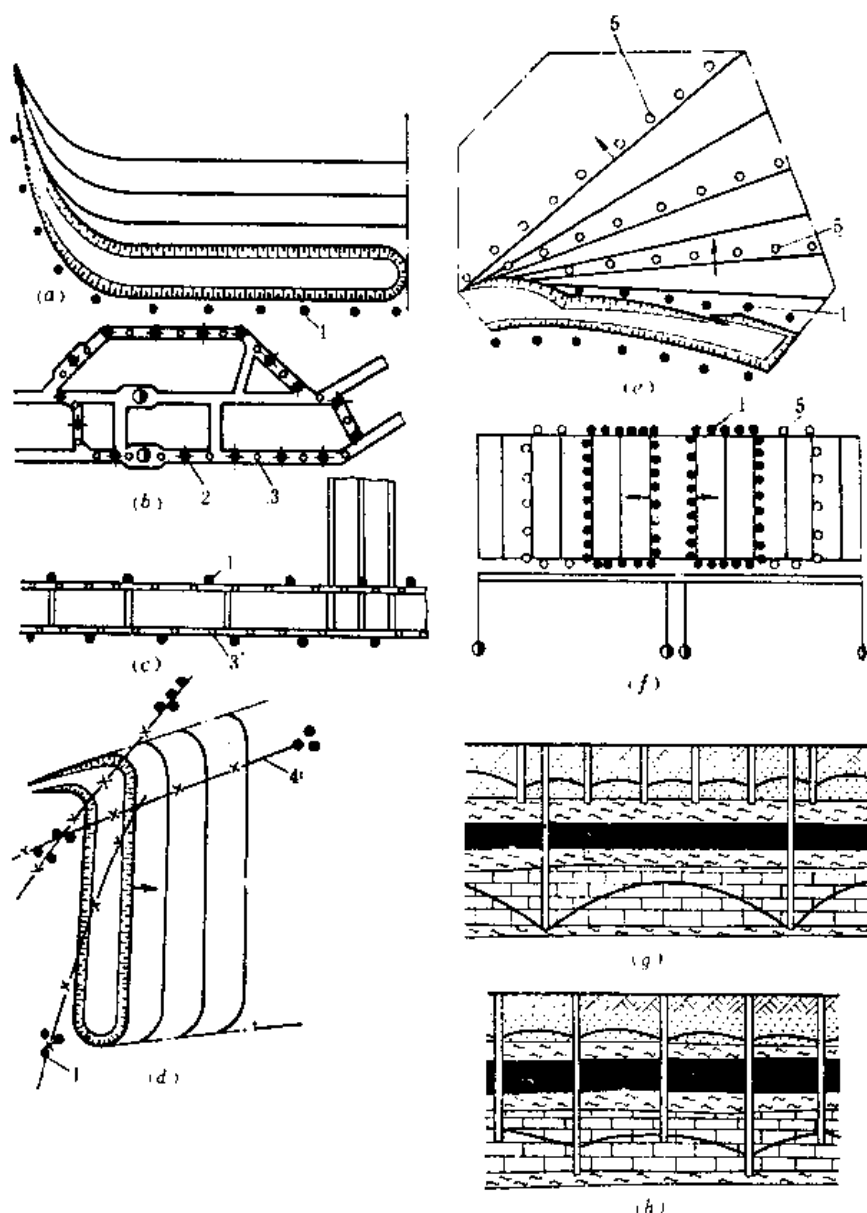


图2 疏干系统布置示意图

(据 И. К. Станченко 编制)

固定式疏干系统：a—露天矿单线列疏干；b—井底车场单环状疏干；c—大巷双线列疏干；d—露天矿丛状疏干；e—露天矿扇形排列疏干；f—采区双环状疏干；g、h—双层状疏干；1—降低水位孔；2—直通式过滤孔；3—仰向孔或降低水位井；4—构造破坏线；5—第二期及随后各期降低水位孔

施、疏水巷道等，形成疏干系统；在专用洞室布置疏水设施。矿井开采时，一般不掘凿专用疏水井筒及平巷，而用准备巷道代替。露天开采时，地下疏水系统还可用于收集与排出大气降水，使坑内排水问题简化。这种疏干系统，排水工作可靠，维护简单，疏干设施取水量大。然而，有可能突水，从而使整个或局部疏水系统长期不

能工作；水文地质条件复杂时，工程量大，基建费用大，施工期长，这些是其缺点。

**联合疏干方式** 指地表疏干与地下疏干的组合方式。它适用于水文地质条件复杂的矿区。大多数情况下，先用降低水位孔把地下水位预先降低到安全值后，再修建地下疏干系统。

**疏干系统** 指以一定方式布置，用于汇集、抽排和疏导地下水的疏水设施和设备的组合。疏水设施根据矿区水文地质条件、建设与生产进程、采掘工艺及所采用的运输设备进行修建、投入使用和扩展。

#### 选择原则

(1) 全部疏水设施的计算总排水量，应大于使巷道充水的所有含水层的地下水天然来水量。

(2) 疏水设施尽可能布置在应疏干巷道附近，同时还要考虑自然条件、疏泄含水层底板形态和渗透性质、地表建筑物分布状况以及对所防护巷道稳定性的影响。

(3) 疏水设施应能不停顿地运转。

(4) 采掘早期除抽排地下水动水量外，还要排除静储量，在这段时期要增多疏水设施备用量。

(5) 应考虑各个地段疏水设施的相互影响。

(6) 能满足所选用采煤工艺的要求。

**分类** 据疏水设施的平面布置形式，疏干系统分为单线列、双线列、多线列、网状、环状、双环状和丛状(图2)。单、双线列系统适用于防护长条状巷、沟及截存宽度不大的地下水流。多线列系统多布置在疏泄岩层透水性差的地段。环状系统适用于面积不大、地下水自四周流入、含水层水平埋藏的矿区，其疏水设施分布在采区岩石移动带范围以外、露天矿周边或首采区周围，丛

状系统多布置在含水岩体渗透性不均一、岩溶发育不均匀或煤层底板等高线变化大的地段。

按疏水设施布置高度,疏干系统分为单层式和多层式(见图2)。多层式用于疏干含水层数量多或厚度巨大的地区。

按扩展方式疏干系统,可分为推移式与逐层式。在矿床呈水平或缓倾斜埋藏地区,疏干系统常具推移性,即疏水设施按开采计划随采掘工作面推进而循序不断地迁移,每个疏干期间只防护面积不大的一部分矿体(见图2)。急倾斜煤层的疏水设施,要随采掘水平下延而逐步扩展,采用逐层疏干,每层(次)疏干数十米或数十年。

疏干系统设计以水文地质计算为根据。计算任务是:①评估矿井(坑)、局部采掘区段及井筒涌水量;②判定疏水措施的效果;③确定疏水设施数量及其平面与剖面合理分布方案;④计算疏水设施排水量及排水持续时间,保证在规定时间内使地下水水位降低到要求值;⑤评估疏干工程对矿区地下水动态(水位和水质)的影响,进而预测降低水位对巷道及环境的影响。

**最优化** 运用系统分析的原理与方法,从整体与局部、整体与外部环境的相互关系中,找出疏干工程这项复杂系统工程的最优化设计方案。即在给定条件下,在众多允许解中,选择最佳的解。疏干系统早期的最优化设计,只考虑在保证某一阶段采区采掘安全(即把充水含水层水位或水压降低到安全值)的前提下,使疏干工程成本最低。现代大型矿区疏干系统的最优化,则要求在保证采掘安全的前提下,使疏干工程所引起的环境破坏(包括周围地面沉降、周围水源枯竭及对景观的破坏、对农林业的影响等)减小到能满足有关部门的要求,并且成本最低。

**监测** 疏干阶段,在矿区对各疏水设施、井筒和巷道、疏泄含水层及有关的地表水体所进行的系统性长期观测。其观测内容包括流量、水位和水质,有时还有水温。观测点布置应有针对性,并保持一定网度。

疏干系统监测是矿床疏干的一个重要环节,①含水层渗透性不均一,在确定计算参数和概括自然环境时,不免形成误差,使水文地质计算只具有近似性,疏干系统布置是初步的;②疏干降深和影响范围大,有时达数十甚至一二百公里,这不仅使含水层的边界条件可能随着时间的推移而产生巨大变化,而且可能出现越流,使含水层之间、地下水与地表水之间形成新的水力联系。因而,疏干系统监测成果可用于,①修改对矿区水文地质条件的认识,校正甚至改变疏干计算模型;②完善疏水设施,修改疏干系统设计;③预测矿井(坑)突水危害,及时采取预防措施;④预测疏干对环

境的影响,提出防范环境污染的措施。

### 参考书目

Л. К. Сташечко, Справочник по осушению горных пород, М., Недра, 1984.

(胡丹九)

kuangjing shuiwen dizhi:

**矿井水文地质** (mine hydrogeology) 研究和解决煤矿井建设和开采过程中的水文地质问题,防治水害,保护和利用地下水资源方面的工作。其目的是保证矿井安全生产,并提高其技术经济效益。煤矿采掘后,天然水文地质结构遭受破坏,会形成随矿井生产发展的不稳定矿井地下水流状态。由于这一人为流场在煤田勘探阶段难于准确预测,而要在煤矿建设与开采过程中逐步认识,因而矿井水文地质工作是煤田水文地质勘探工作的继续和发展,并贯穿于矿井建设与开采的全过程,其中心是查明矿井水文地质条件在采掘过程中所发生的种种变化及其对矿井建设与生产的影响。

矿井水文地质工作的基本任务是,①开展矿区(井田)水文地质补充调查、补充勘探和水文地质观测工作;②为矿井建设、采掘、开拓延深、改扩建提供所需的水文地质资料或专门报告;③在采掘过程中进行水害分析、预测和防、探水;④开展矿区(井田)专门防治水工程中的水文地质工作;⑤为补充和改善矿区(井)生产、生活供水,进行调查、勘探,提供水源资料;⑥根据需要开展老矿区环境水文地质调查和研究。

矿井水文地质工作一般分为地面与井下两部分。其工作方法与煤田水文地质勘探工作方法相同。根据矿区具体矿床充水条件 and 生产实际情况确定工作内容与方法。

矿井水文地质工作内容,除矿区地面水文地质调查与观测、井下水文地质观测与编录、采掘工作面水害预测、预报及防、探水等经常性工作外,在有些矿井尚包括矿井水文地质补充勘探、地表水防治、喀斯特塌陷防治、防(隔)水煤(岩)柱留设、矿坑酸性水防治、注浆堵水、疏水降压、排水恢复被淹井巷等工作。

矿区地面水文地质调查与观测内容包括搜集气象资料,调查地貌(特别是喀斯特的各种地表形态)、第四纪松散覆盖层和基岩露头、地质构造、地表水体、水井、泉、钻孔、废井、老窑以及各种环境地质问题。

气象资料一般可向当地气象台站搜集,但其中降雨量对矿区防排水和防洪关系重大,必要时可自设雨量站观测。对比较突出的一些环境地质,特别是水质污染、水资源破坏、地面下沉、滑坡、崩塌、沙漠化等地

质灾害问题,必要时应进行监测工作。水文地质条件较复杂的矿区,特别是大水矿区,应对泉、有代表性的井和钻孔进行长期监测,观测水位、水质与气象及采掘工作面推进的关系。当矿井排水形成的降落漏斗可能扩展到地表水体时,应进行地面调查,并在水流的上、下段设立水文观测站,以便查寻渗漏段位置及渗流量。

井下水文地质观测与编录是一项经常性的工作,其主要内容是,对矿井建设和开采过程中所揭露的含水层和涌水裂隙及时进行观测与编录,调查其岩性、厚度、产状、构造、裂隙或喀斯特发育与充填情况;对溶洞、喀斯特陷落柱以及涌水裂隙带作较详细的描述;对所揭露的断层,判断其性质,测定其断距、产状、断裂带宽度,观测断裂带充填成分及胶结程度,分析其水文地质意义;观测并编录井下各出水点位置、水量及水质状况以及涌沙、突泥现象,分矿井、分水平观测涌水量并调查充水水源、充水途径和方式,对重要的出水点要设站进行动态观测。一旦井下突水,除调查突水时间、地点、突水层位、岩性和厚度,突水形式,围岩破坏情况,观测突水过程和水量变化外,还应及时加密观测井下及地面各观测点的水位或流量动态,取样进行水质化验,分析突水水源和突水原因。

上述调查和观测获得的矿井水文地质基础资料,应认真整理,长期保存。在此基础上,根据矿井生产需要,编制矿井充水性图、矿井涌水量与各种相关因素动态曲线图、综合水文地质图、主要充水含水层等水位线图、坑道水文地质图、钻孔及泉点动态变化曲线、抽(放)水成果图以及井上下防治水系统图、断层两盘含水层对接补给关系图、矿区地下水化学图等各种实用性水文地质图件。

采掘工作面水害预测及矿井防、探水工作,在受水害影响的矿井进行。每年初,根据年采掘接续计划,结合水文地质资料,全面分析水害因素,提出水害分析预测图,预测可能的水害类型,圈出可能发生水害的地段,提出水害预防措施。在采掘过程中,应经常检查并及时补充、修改预测图。在煤层顶板导水裂隙带范围内分布有含水层时,应防、探顶板水。有积水老空区存在时,应以平面图、剖面图确切反映其与采掘工作面的空间关系。掘进工作面进入积水警戒线后,井巷通过导水或可能导水断层前,都应超前探、放水。

留设防(隔)水煤柱,是为了阻隔各种充水水源与充水通道,其留设方法和规格尺寸,应针对实际情况计算确定,并应编制专门设计。

在水文地质条件尚未查清或经常性矿井水文地质工作不能满足生产要求以及复杂型和极复杂型大水井田或矿区,往往还进行专门水文地质勘探,以解决那些

影响矿井安全和经济效益的关键性水文地质问题。在这种情况下,所布置的勘探工程应依据充分、目的明确、针对性强,并充分利用矿井有利条件,作到井上、下结合。除布置勘探孔、观测孔外,还进行抽水试验、放水试验、连通试验,有时还进行疏水开采试验。

在底板喀斯特充水矿区,尤其是底板含水层水压大,底板安全隔水厚度达不到安全要求的矿区,常进行补充勘探,以查明含水层与可采煤层之间的隔水层厚度、岩性组合以及力学性质的变化,水压大小,含水层厚度、岩性和富水性在水平方向和垂直方向的变化,喀斯特发育分布规律,暗河系统或集中径流带,隔水层中断层裂隙的发育程度,补给水源和补给关系;圈定可能突水危险区;预计最大涌水量;制定防治水方案。

排水恢复被淹井巷和注浆堵水前,需开展一些专门性工作,以查明突水点位置;分析突水原因;探明突水补给水源的充冲程度或来水含水层的富水性及突水通道的大小等;确定涌水量变化,突水淹没范围和积水量,进而根据上述资料制定恢复方案或注浆方案。

在有酸性水危害的矿井,查明形成酸性水的主要因素及其来源、分布和水量后,制订相应的防治措施。  
(高洪烈)

## kuangjing shuiwen dizhi guicheng

### 矿井水文地质规程 (regulation of mine hydrogeology)

中国煤炭工业部主持制定的矿井水文地质工作技术法规。它以《煤矿安全规程》为依据,明确规定了中国煤矿矿井水文地质工作的基本任务、要求和技术标准。

**目的** 从中国煤矿床水文地质特点出发,研究和解决矿井生产建设中的水文地质问题,防治矿井水害,合理利用矿井水,保护地下水资源,严格科学管理,以保证煤矿正常安全生产建设和提高其经济效益。

**沿革** 中国正规煤矿最早的一部矿井水文地质规程是1960年由煤炭工业部颁布试行的《矿井水文地质规程(草案)》。它是从《煤矿和油页岩矿井地质工作试行规程》中,抽出其水文地质部分扩写增订而成。

中国现在执行的《矿井水文地质规程》,是1984年由煤炭工业部颁布的。它总结了1984年以前中国煤矿矿井水文地质工作经验,是以实际存在的重大水文地质问题为依据的。这一《规程》包括了煤矿矿井水文地质类型的划分及其工作要求、矿井水文地质补充勘探、采掘工作面水害预测与防治水、矿井防治水工程中的水文地质工作,以及矿区供水和环境水文地质工作等内容,并附有有关的计算公式和技术标准。

(沈文 陈世杰)

kuangjing shuiwen dizhi leixing

**矿井水文地质类型** (hydrogeologic type of

mine) 根据矿井水文地质条件、涌水量、水害情况及防治水难易程度划分的煤矿井类型。

划分矿井水文地质类型的目的,在于正确确定矿井水文地质特征、水害性质及防治水的方法,有针对性地开展矿井水文地质工作,保证矿井安全生产。

划分矿井水文地质类型,要围绕防治水工作,突出矿井充水的主要因素,能客观反映与概括矿井充水的水文地质条件和特征,并力求简明实用。

中国现在主要根据受采动破坏或影响的含水层的性质、富水性和补给条件,把矿井水文地质条件划分为简单、中等、复杂和极复杂四个类型。①水文地质简单的矿井。矿井充水水源来自孔隙裂隙、溶隙含水层,补给条件差,补给水源少或极少。年平均单井涌水量小于 $180\text{m}^3/\text{h}$ 。采掘工程一般不受水害影响,防治水工作简单。②水文地质中等的矿井。矿井充水水源来自孔隙裂隙、溶隙含水层,补给条件一般,有一定的补给水源。年平均单井涌水量 $180\sim 600\text{m}^3/\text{h}$ 。采掘工程受水害影响,但不威胁矿井安全。防治水工作简单或易于进行。③水文地质复杂的煤矿井。煤矿井充水水源主要来自溶隙与溶洞含水层、厚层砂砾石含水层(煤层直接顶、底板为含水砂层),补给条件好,补给水源充沛。年平均单井涌水量 $600\sim 2100\text{m}^3/\text{h}$ 。采掘工程、矿井安全受水害威胁。防治水工程量较大,难度较高,防治水的经济技术效果较差。④水文地质极复杂的矿井。矿井充水水源来自喀斯特含水层,补给条件很好,补给水源极充沛。矿井经常直接或间接接受煤层上、下部的灰岩喀斯特溶洞和溶隙、高压富水含水层突水威胁;灰岩露头分布范围广,水系发育;或在高原山地向斜正地形,矿区灰岩喀斯特特别发育,常形成暗河系统或汇水封闭洼地。单井涌水量大于 $2100\text{m}^3/\text{h}$ 。这类矿井突水频繁,来势凶猛,水中含泥砂率高,采掘工程、矿井安全受水害严重威胁。防治水工程量大,难度高,往往难以治本,或防治水的经济技术效果极差。

(沈文 陈世杰)

kuangjing tushui yuce

**矿井突水预测** (prediction of mine water

bursting) 根据各种征兆和对含水层、隔水层的分析研究,事先判断可能发生地下水突然集中涌入煤矿井巷的规模、部位、地点和时间,指导矿井安全生产工作。它贯穿于矿井设计、建设和采掘的各个阶段。其中,设计阶段的预测是以后各阶段预测工作的基础;

建设、采掘阶段的预测是设计阶段预测的继续、补充与深化。

**矿井突水** 地下水突然集中涌入煤矿井巷的现象。它是一个多因素的随机水文地质现象,发生突然,来势凶猛,涌水量大,一旦预报不及、不准或排水能力安排不当,往往造成严重淹井或停产事故,甚至造成人员伤亡,后果不堪设想。据对中国华北地区喀斯特类煤矿突水资料的初步统计,随着开采强度和深度的加大,突水机率和频率也相应增大。1950~1960年间,一般突水量只有 $5\sim 29\text{m}^3/\text{min}$ ,个别达到 $60\text{m}^3/\text{min}$ ;20世纪60年代,一般突水量为 $20\sim 40\text{m}^3/\text{min}$ ,个别达 $100\text{m}^3/\text{min}$ ;20世纪70年代,出现了 $240\text{m}^3/\text{min}$ 的突水;1984年,河北唐山范各庄矿突水量达到 $2053\text{m}^3/\text{min}$ 。20世纪80年代的突水次数,比50年代增多257%。

**突水类型** 矿井突水是在地下水的静水压力和矿山压力的共同作用下形成的。按其出现的部位,可分为顶板突水、底板突水和侧帮突水。

**突水水源** 地下水、老窑水和地表水。导水通道主要是断层带、裂隙带、冒落带、喀斯特通道、陷落柱和未封闭或封闭质量不好的钻孔。

中国煤矿较大的突水事故,多发生于喀斯特充水矿床;危害性最大的是底板突水,特别是华北奥陶系灰岩突水和南方下二叠统茅口灰岩突水。

突水的形成,与含水层(或含水水体)的水头压力及富水性,隔水层(或防水岩煤柱)的厚度及强度有关;采矿活动引起的地应力重新分布,以及与其伴生的底鼓、底裂、冒裂等现象,则对突水起诱发或触发作用。有些突水,由直接揭露含水层或含水水体造成。

**突水量动态** 突水量变化大,这与其补给条件、导水通道沟通程度及水头压力有关。突水初期瞬时流量往往极大,稳定流量则相对大大减小,有时不到最大突水量的1%。当突水水源为厚层喀斯特灰岩或地表水体时,突水量可长期不衰,但突水猛烈程度及流量大小则与通道大小、长短及受阻程度密切相关。当突水水源为老窿水,且无其它补给源时,瞬时突水量很大,放空后突水即告终止。

中国南方矿井突水时,常伴有泥、砂涌出,有些矿区随之出现地面塌陷。

在裸露型喀斯特充水矿区,矿井突水与当地降雨关系密切。

**突水形式** 突水按发生过程,可划分为突发、缓发和滞发三种形式。突发型突水,其水势凶猛,突水量高峰迅即出现,一般发生在突水源附近,其突水口多为坚硬岩层。缓发型突水,其突水量缓缓增大,峰值出现时

间可以是数十小时、数天或更长时间。滞发型突水,其发生时间常在开拓后数月或半年,甚至10多年以后,即在采掘期间巷道并无突水迹象,经过相当长时间后才发生突水。

突水一般都有个过程,事前可能出现突水点或附近矿压明显增大;巷道发生底鼓、底裂,岩层发出破裂声;有嘶嘶水叫声;帮壁突见水珠及淋水加大;煤帮松软发潮;掘进工作面突然变冷并出现水雾;顺断层炮眼或探水钻有小股水流涌出以及水中夹杂岩石喷出物等各种征兆。

**突水系数** 20世纪50年代,中国采矿系统多采用苏联斯列沙辽夫公式计算间接底板、顶板或侧向含水层的安全水头压力,以预测突水可能性,但误差较大,实际意义不大。1964年,中国煤矿水文地质工作者提出用突水系数,  $T_s$  (MPa/m), 即隔水层所承受的最大静水压力  $P$  与其厚度  $M$  之比,即  $T_s = P/M$ , 或用临界突水系数,即单位隔水层厚度所能承受的最大水压,作为评价底板稳定性的判别依据。这是从中国华北地区长期的、大量的底板突水实际资料统计分析中得出的一个规律性认识。早在1944年,匈牙利 Vigh-Ference 就提出了相对隔水层厚度  $\nu$ , 即单位水压等值隔水层厚度这一概念,但经过20多年研究,才在20世纪70年代初在匈牙利矿业部门推广,并载入1974年颁布的《矿业安全规程》。

中国煤炭科学研究总院西安分院通过分析中国华北197个典型突水案例和154个安全生产案例,并对一些矿井的隔水层进行多次压水试验后,于20世纪70年代末指出,突水系数计算式中的隔水层厚度,不应包括遭矿压破坏的底板深度。

临界突水系数不是一个定值,不同矿区甚至同一矿区的不同位置都可能不同。实际统计得出的临界突水系数值,主要反映断裂薄弱带的突水条件,若用以预测正常底板,则其数值比实际情况大大偏小。

中国华北的一些矿区在开采中、上部煤层时,临界突水系数值一般在0.066~0.072之间,有的达0.15。可采用突水系数判别采煤工作面是否可能突水:当突水系数小于实际临界值时,即可认为该地段是安全的。据统计,中国河北峰峰矿区隔水层突水系数大于0.072的突水点占91%;焦作矿区隔水层突水系数大于0.066的突水点占93%;淄博矿区隔水层突水系数大于0.066的突水点占86%。

**突水预测方法** 一般应先宏观(分区)预测,后微观预测(在不安全区圈定可能突水地段,进而随施工推进观测突水征兆),从设计到采掘的各个阶段都应分别进行突水预测。

(1) 宏观预测。一般在建井、开拓延深、改扩建设计阶段进行。首先查明矿井或采区主要充水含水层的特征,顶、底板保护层(隔水层)的厚度分布及隔水性能。

采用类比法,结合预测矿井或预测采区的具体地质特点、开采方法与采掘深度,预计冒落带与导水裂隙带高度及突水系数经验值;预测冒落后导水裂隙能否伸展至充水含水层或充水水体及其沟通程度;预测底板突水条件。

据统计,突水大多发生在构造部位。应重视分析断层产状、位置,断层带富(导)水性。对下列构造部位更应注意:断层交叉或汇合处、断层尖灭处、褶曲轴部裂隙密集带或小断裂密集带、背斜倾伏端、新构造活动强烈的断裂带等。在有些矿区,还要预测导水陷落柱。

通过整理分析矿井水文地质资料,编制水文地质分区图,划分出富水程度不同的块段,并将易于突水的薄弱部位,进一步分成亚区,预测可能突水的大致范围或地段。

(2) 编制突水系数图。这种图件分为矿区或井田突水系数图(比例尺1:5000~1:10000)和采区突水系数图(比例尺1:1000~1:2000或更大)两种。它们以拟采煤层底板等高线图为底图,先将已知断裂带、矿井水文地质资料标于图上,绘出等水压线和保护层厚度等值线。保护层厚度是指隔水层厚度减去采矿破坏深度,有的矿区还有承压水导高带(或隐伏水头带)厚度;再根据这些资料,绘制突水系数等值线,圈出相对安全区和有突水危险区。

(3) 采掘过程的突水预测。在第四系含水砂层下采煤,除须预留防水煤(岩)柱外,还可通过风化带隔水性能试验和充水含水层水位观测,预测突水可能性。

对有底板突水危险的地段,或易于发生突水的构造部位及其附近地段,采取钻探法、物探法和突水征兆监测法进行预测。①钻探法主要用于探测底板水导升高度和断裂破碎带的富水性。②物探法主要用于查明隔水层厚度变化、含水层富水性、承压水导高带特征、陷落柱位置及富水性,以及隔水层的断裂破坏带位置和特征,从而判断突水可能位置。由于矿井条件复杂,物探法只在某些条件合适的矿井进行试用。用于探查构造和陷落柱的物探方法有:槽波法、电法、无线电波透视法、地质雷达法、瑞利波地震勘探等(见矿井物探)。用电阻率法可探测底板隔水层厚度、承压水导高带、隐伏断层及超前含水构造。用红外遥感可探测工作面前方或巷道两侧潜伏含水带,通过测量氡气含量,可确定底板水导升高度及隔水层含水性。物探方法往往



具有多解性,因此不仅要结合前述宏观预测资料进行分析,而且应尽可能采用电剖面法与高精度重力勘探法等进行综合物探。③突水征兆监测,是在有发生突水危险地段采掘过程中的一项日常工作。预测图须经常检查、补充和修订,发现险情后要及时采取措施。当井巷通过含(导)水断层时,须严防来压冒顶突水或滞发突水(突泥砂);在可能有喀斯特泥石流突出地段采掘时,须加强征兆观察。

(李金凯 胡丹九)

## kuangjing wutan

### 矿井物探 (mine geophysical prospecting)

在矿井开采过程中,为在井下探查采区或工作面前方的小构造、煤层变化等而采用的各种物探方法的总称。目前,地面物探技术只能识别较大的地质构造,一般在800m以浅的岩层中,可探查出落差10~20m以上的断层,往深部,其探查精度更差。而在煤层开采中发现,落差小于10m的断层占大多数,有时占90%以上,而且其中一半以上不能被巷道揭露或圈定。因此,矿井物探是为设计高效、连续、安全采煤工作面必须具备的一种探查手段,是地面物探的重要补充。

20世纪70年代以前,只偶尔在井下用地面物探仪器与方法解决个别地质问题。基于综采的发展和它对开采地质条件的苛刻要求,随着现代科技的发展,现已试制出多种防爆矿井物探仪,研究出多种井下适用的方法,矿井物探正在许多国家的一些矿井推广应用。

**特点** 由于作业场所在矿井中,矿井物探的主要特点是,①仪器必须具有防爆性能;②激发与接收处于全空间环境,信号可能来自所有方向,而不仅是来自下面的半空间;③探测的目标小,所采用的仪器与方法要具备高分辨率、高准确度和高可靠性等特点;④施工布置限制在已有巷道和工作面中,探测区位于这些巷道的工作面之间或其上、下部;⑤运输、组织、准备作业都比地面物探困难,要求仪器设备轻便,操作简易;⑥激发与接收器常布置在沉积旋回重复变化的岩层中,需引进新的资料处理技术和解释方法。

**方法** 目前采用的矿井物探方法主要有,①槽波法地震勘探;②电阻率法;③无线电波透视法;④地质雷达法;⑤无缆测井;⑥瑞利波地震勘探等。其它还有高频地震勘探、放射性勘探、红外遥感等。

(1) 矿井电法。普遍采用的矿井电法是电测深、电剖面法和电透视。电测深法常用于评价巷道附近地电剖面特征。电剖面法用于调查巷道下方岩体的局部非均匀性。电透视法用于研究两巷道之间的岩体(或煤柱)(见煤田电法勘探)。目前,中国与乌克兰已分别研制出

本质安全型和隔爆型防爆电法仪。

(2) 矿井无缆测井。中国已研制成矿井防爆测井系统,它是一种无缆测井仪,利用探管将探头顺煤层送到待测深度,即可在近水平方向的钻孔中测井,确定电阻率、 $\gamma$ 强度、岩石密度、钻孔方位和倾角等参数。

(3) 瑞利波地震勘探。瑞利波是一种面波,具有频散特性,不同振动频率的瑞利波沿深度方向衰减不同,高频衰减快,低频衰减慢。瑞利波地震勘探就是通过测量分析不同频率成分的瑞利波传播速度来探测不同深度的煤岩界面和地质异常的。这种方法的测线基距与勘探深度的比值可达1:20以上,即勘探测线短而勘探深度相对较大,这适于在独头巷道超前勘探,其勘探方向可以是全方位的。因瑞利波衰减快,目前探测深度不大于50m。

(4) 矿井高频地震勘探。它是把激发源布置在巷道壁,接收器埋在巷道底部,用以探测巷道底板和两帮的岩层特征,可获得频率约为600~1200Hz的反射波,分辨率可达1m,勘探深度5~200m。

(5) 矿井放射性勘探。目前,利用瞬态测氡法、累积测氡法和 $\alpha$ 射线探测法在井下探测断层与突水点。

(6) 矿井红外遥感。用于探测采煤工作面及独头巷道前方及顶、底板和巷道两帮的潜伏含水带或构造,遥感距离在20m左右。

**用途** 目前,矿井物探主要用于①探查与圈定小断层、火成岩脉、夹矸等异常体的展布;②确定煤层厚度、顶、底板的变化;③探查与圈定含水带或含水构造的分布,预测突水可能性;④确定遗留钻孔、废巷道及其它工程遗迹位置;⑤探查喀斯特陷落柱空间位置;⑥探测岩体应力场的变化,预测冲击地压,岩、煤突出危险性等矿山动力地质现象。现正试用高频声发射法、电磁测深法、无源地震法监测巷道支承压带在采掘过程中地球物理场各参数变化;采用自然声发射法、自然电磁辐射法,在未进行生产巷道监测自然物理场变化。

**发展趋势** 目前矿井物探尚不能满足煤矿生产的全部要求。随着科学技术的发展,矿井物探在探测精度和能力上将会进一步提高。硬件方面着重于仪器设备防爆、轻便、微机化和大动态、低噪音、小失真的研究;软件方面,着重于针对煤矿地质特点与生产要求,增加信息处理手段,研究自动成图和综合解释。在工作方法上,将会采取井上、下结合,钻探、物探、化探结合,进行多手段、多层次、全方位探测。因各种方法都有其一定的应用条件和解决地质问题的局限性,多种方法综合配套将是发展总趋势。

(戚敬华)

kuangqu gongshui shuiyuan kantan

**矿区供水水源勘探** (water supply exploration of mining area) 为解决矿区供水水源问题而进行的水文地质勘探工作。其任务是①在查明矿区地下水赋存条件和水资源状况的基础上,选择合适的供水水源地,并查明水源地的可开采水量及水质。②论证地下水合理开采和利用方案。③预测水源地开采后可能产生的环境地质问题并对相应的防治措施提出建议,为供水水源工程设计提供依据。

**水源选择原则** ①位置尽量靠近矿山生产区与生活区。②地下水是矿区主要供水水源,在特殊条件下,地表水,甚至矿坑水也可作为供水水源。③水源地应避免开现有的、将要或可望建设的矿井疏水与排水影响范围,预计在较长时间内水源不会枯竭,不会遭受污染。④为了充分利用、保护地下水资源,如有可能应采取排供结合,尽量利用钻孔疏水和矿井排水。

**阶段** 矿区供水水源勘探过程,是根据矿区的供水需要和对地下水赋存规律的认识,由浅入深,由概略到详细,并和煤矿基本建设程序以及煤炭资源地质勘探阶段相适应。按一般要求,在煤炭资源普查阶段结束时,提出矿区供水水源工作方向;在煤炭资源详查阶段结束时或矿区总体设计之前,提供矿区总体设计所需的供水水源资料;在矿井初步设计之前,提供供水水源地设计所需的供水水源资料。

矿区供水水源勘探以往划分为找水、初步勘探和详细勘探三个阶段,大体上分别对应于煤炭资源地质勘探的煤田普查、矿区详查、井田精查三个阶段。

现行国家标准《供水水文地质勘察规范》(GBJ 27-88),将供水水文地质勘察工作划分为地下水资源调查、普查、详查、勘探和开采五个阶段。其中,普查、详查、勘探,分别相当于以往的找水、初步勘探和详细勘探。

(1)地下水资源调查阶段。是在粗略了解区域水文地质条件的基础上,推测地下水的富水地段,提出地下水的E级允许开采量。

(2)找水(普查)阶段。是在概略评价区域或需水地区水文地质条件的基础上,寻找有进一步勘探价值的可能水源地,估算地下水的D级允许开采量,为矿区建设的远景规划提供依据。

(3)水源初步勘探(详查)阶段。初步查明可能水源地的水文地质条件,并初步评价其水量、水质,提出地下水的C级允许开采量,确定其供水价值和是否需进行详细勘探(勘探)工作。

(4)水源详细勘探(勘探)阶段要求查明供水水源地水文地质条件,提出地下水的B级允许开采量和

合理的开采方案,评价地下水开采的环境地质影响。

(5)水源开采阶段。主要是研究开采条件下,地下水水质、水量及环境条件的变化,为解决地下水开采后引起的环境问题,查明水源地扩大开采的可能性,合理开采和保护地下水资源提供依据。

供水水源勘探阶段,可以根据矿区需水量大小、现有工作程度和水文地质条件等的实际情况,进行简化与合并。

**方法** 为供水所进行的水文地质勘探,其工作内容、采用的手段和方法,基本与煤田水文地质勘探相同,只是研究重点和具体要求不同。其工作量的大小和工作内容的多少,主要取决于各种用水对水质及水量的要求,地区自然地理、地质及水文地质条件的复杂程度和地区地质及水文地质研究程度等三种因素。凡要求高、条件复杂而研究程度低者,则工作量增大。

(1)找水(普查)阶段,要充分发挥遥感、水文地质测绘以及地面物探的作用,配合适量的钻孔和抽水试验,选择重要的地表水、地下水点进行动态观测。

(2)初步勘探(详查)阶段,应在水文地质测绘、地面物探的基础上,合理布置钻探工程和抽水试验,开展长期观测工作。

(3)详细勘探(勘探)阶段,主要利用钻探、抽水试验和长期观测手段。抽水试验多采用群孔抽水,必要时还要用大口径孔组抽水;有条件的地区可进行探采结合,既可提高勘探程度,又可直接解决供水问题。

在供水水源勘探的各个阶段,都应充分使用测井手段。

**矿区供水水文地质类型** 按照供水含水层的性质、赋存条件,矿区供水水文地质类型可划分为孔隙类、裂隙类和喀斯特类等三大类,各类又分不同的供水水文地质类型,它们具有不同的水文地质特征,是选择勘探手段和方法的重要依据。

**孔隙类** 松散沉积物中的砂层、砂砾层、卵石层往往是富水性较好的含水层,而粘土层、亚粘土层或其它泥质含量高的沉积物往往形成相对隔水层。这些岩层的埋藏深度一般较小,地面物探和测井往往可以取得好的效果;颗粒分析往往可以提供判别含水层、隔水层及渗透性相对强弱的有用资料;水文地质测绘工作可以获得较丰富的水文地质资料。

孔隙类又分为山间河(沟)谷型、山间盆地型、山前扇地型和平原型。

**山间河(沟)谷型** 地表水和地下水之间往往存在着密切的水力联系,在一定条件下可以互相转化,勘探中至少应布置一条控制整个河谷的横向断面,或者在河流流入和流出勘探区处布置勘探剖面,对地表水和

地下水进行统一观测和研究。

**山间盆地型** 地下水和地表水的丰富程度,与盆地汇水面积的大小关系密切。山间盆地往往存在着比较狭窄的进水口和出水口,易于均衡计算。山间盆地中,地下水与河水常有密切的水力联系,可能相互转化。盆地中松散沉积物的岩性和富水程度,与盆地四周的基岩岩性有关,当周边基岩为灰岩、火成岩、砂岩等岩层时,盆地沉积物颗粒较粗,富水性较好;当盆地四周及基底岩层透水性较好时,盆地中的基岩地下水,往往成为松散含水层的重要补给来源。

**山前扇地型** 地下水可以得到山区地下水潜流的补给,或者由流经扇地上部砂砾石层的地表水渗入补给。后者常占很大的比例。山口以上汇水面积的大小,决定着扇地地下水的补给程度。

**平原型** 松散含水层分布广、厚度大,常具有多个有水力联系的含水层,还可以获得大气降水、灌溉用水、地表水以及基岩地下水等多种来源的补给,有较大的调节能力,供水条件一般较好。地下水往往存在着明显的水化学垂直分带。

**裂隙类** 分为构造裂隙型和风化裂隙型。

**构造裂隙型** 含水层多为含裂隙的砂岩层、砂砾岩层、火成岩等。其富水性与断裂构造密切相关。在进行水源勘探时,应研究断层和裂隙带的分布、断层的性质和切过地层的岩性,分析构造控水作用。特别要注意新构造断裂的影响。

**风化裂隙型** 含水层多由风化后的砂岩层、砾岩层构成。在地形低洼、地表水和地下水易于汇集的地段,常是风化裂隙含水层的富水地段。

在裂隙类地区进行水源勘探时,要研究地貌、岩性、构造背景,使用遥感、水文地质测绘、地面物探,配合钻探和抽水试验,圈出富水地段,作为重点勘探地段。

**喀斯特类** 含水层的富水性特别不均一。在进行水源勘探时,要通过遥感、水文地质测绘、物探、钻探、抽水试验等手段,研究喀斯特发育规律,寻找喀斯特发育程度较高的地段。喀斯特类又分为裸露一半裸露型和隐伏型。在许多矿区,灰岩的裸露区或半裸露区常是喀斯特水文地质单元的补给区,地下水埋深大,勘探和取水均不易;径流区和排泄区则多为灰岩隐伏区。径流区的强富水带多是喀斯特发育的强径流地带,与断层、裂隙的分布关系密切。喀斯特水常以大泉的形式排泄,排泄区一般喀斯特率较高,水位较浅。喀斯特含水层分布的面积和厚度往往很大,具有很强的调蓄能力,中国北方的奥陶系灰岩和南方的二叠系茅口灰岩就很典型。喀斯特含水层的某些层段中往往夹有石膏

层,可能对水源地水质产生影响。开采喀斯特水以后,可能产生地面塌陷,特别是中国南方地区更为明显。勘探区工作的布置与研究从整个喀斯特水单元研究入手,注意单元中地表水和地下水的转化关系。当喀斯特含水层上覆松散地层时,应注意研究孔隙水与喀斯特水的水力联系。

**矿区水资源评价** 是矿区供水水源勘探的一项最基本的内容(见矿区水资源评价)。

(高洪烈)

kuangqu huanjing dizhi

**矿区环境地质** (environmental geology of mining area) 研究矿区由于地质作用和人为因素引起的自然环境问题,进行环境影响预测和评价,并提出防治措施和建议的工作。

自然界由地质作用引起的环境问题,主要是火山喷发、地震、滑坡和泥石流等导致的灾害性破坏和环境污染(见煤矿区地质灾害)。矿区开发过程中,地质体中有毒、有害元素的迁移、扩散、富集,也可造成环境污染。矿区化学元素的丰度、赋存状态会影响动、植物的生存和繁衍,同时也关系到人们的健康。某种元素的严重过剩或不足,可能引起地方病。缺碘可引起居民患甲状腺肿;高氟能导致地方性氟中毒;某些矿区煤层中铀、钍等放射性元素含量过高,可造成放射性病害;克山病和大骨节病也与环境地质因素有关。

矿区开发,使地质体系内部以及地质体系与生物体系之间原有的动态平衡遭到破坏,由此可能引起一系列环境问题。

(1) 地貌变化。露天矿开采出现大矿坑,并可能造成边坡塌落(滑坡);地下开采可能出现地表塌陷、山体开裂;大量煤矸石排弃于地表,堆积成山,占用耕地,影响自然景观和破坏生态环境。

(2) 地质构造活化。地下开采引起的断层滑动,顶板、煤柱突然坍塌或煤、岩层突出等,会诱发不同程度的地震活动。

(3) 水源枯竭与污染。露天矿坑和矿井排水,导致水位下降,井水枯竭,水质恶化,破坏水源。

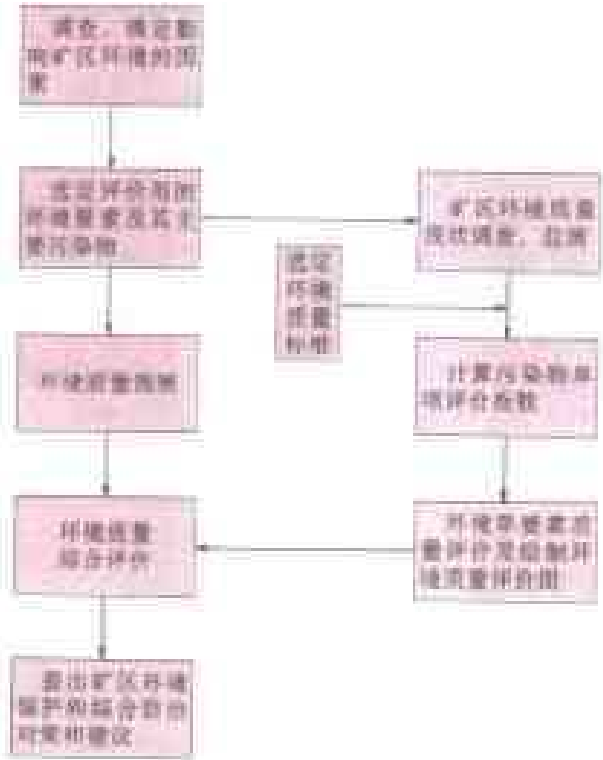
(4) 植被破坏。影响矿区的小气候环境,甚至造成水土流失,出现土地沙漠化。

(5) 生态平衡破坏。矿区生产和生活排放的大量废弃物(主要是矿井废水、废气和煤矸石),把有毒、有害的化学物质散布到地质环境(由岩石圈、水圈和大气圈组成的环境体系)中,逐渐改变地球表面的化学组成,造成土壤、大气和水体的污染,破坏生态平衡。矸石堆一旦发生自燃,释放出大量  $H_2S$ 、 $SO_2$  和  $CO$  等有



害气体,会严重污染矿区及其周围的大气环境。

**矿区环境质量评价** 按照一定的目的,依据一定的方法和标准,对矿区的环境质量进行的定性和定量评定。由于矿区具有建设周期长、项目多、范围广等特点,矿区环境质量评价,根据开发建设项目的不同,可分为单项开发建设项目的环境质量评价和矿区开发总体环境质量评价;按环境要素不同,可分为大气环境质量评价、水体环境质量评价,土壤和生态环境质量评价等。矿区环境质量评价一般采用综合评价法。评价过程中选取能表征各种环境要素质量的评价参数,求出环境质量综合评价值,绘制环境质量评价图件,对矿区环境质量进行预测和评价。环境质量综合评价程序见图。



矿区环境质量综合评价程序框图

**研究现状** 20世纪50年代以来,由于工业污染成为严重的环境问题,大批地质工作者投入了与矿产资源开发利用有关的环境问题的研究工作。一些国家的有关法律、法规纷纷出台,1977年,美国国会通过了《露天开采管理与复田法》,各州制定相应的法规,要求在地质勘探时,不仅要查清矿产储量、质量、埋藏条件等,还要对矿区地貌、土壤、水源、植被、野生动物、文物古迹等作详细调查,绘制各种有关图件,以供环境保护、复田规划使用。中国于1972年开始探讨环境地质学的范畴、理论和方法,并由中国科学院组建环境地质研究机构。中国于1979年确定建设项目环境影响评价

价制度后,煤矿区的环境地质工作已成为矿区开发环境问题研究中的一项重要任务。

(张伟才)

kuangqu huanjing dizhi kancha

**矿区环境地质勘查** (environmental geology survey of minig area) 研究矿区地质勘查各个阶段中关于环境地质工作的目的、任务、方法和内容,对环境影响进行预测和评价,为煤矿设计和矿区开发制订环境污染防治措施 and 环境保护规划提供科学依据的工作。

矿区环境地质勘查与矿区建设项目环境影响评价,从工作方法上,都要对污染源及污染现状进行调查、监测,并对环境影响进行预测、评价。其目的都是为了把矿区开发对环境的不良影响减小到最低限度,以利于矿区的经济发展、人体健康和生态保护。两者不同之处在于,勘查阶段的环境地质工作,主要通过不同勘探阶段,逐步查清与地质作用有关的环境问题并预测矿区开发可能造成的环境影响。而矿区建设环境影响评价则侧重于矿区开发过程中和矿区建成后,由人为因素引起的环境问题及其防治对策和措施。

**工作内容与要求** 不同勘查阶段矿区环境地质工作的内容与要求也不同。

**普查阶段** 对普查区的环境地质现状进行资料搜集、现场调查和监测,为进一步勘探时进行环境影响预测和评价提供基础资料。

(1)进行区域地壳稳定性调查,搜集普查区附近地震历史资料,调查新构造活动情况,分析是否有活动断裂存在。

(2)调查区内的自然地理环境(包括旅游区、文物保护区和自然保护区等)、社会环境(包括建筑物与构筑物的类型、密度等)和地质环境。

(3)搜集区内各环境要素的背景值(污染起始值)或对照值。

(4)对矿区开发影响范围内与环境有关的地貌、地质、水文地质(包括地下热水)和地质灾害(包括滑坡、崩塌、山洪、泥石流等)进行野外调查。

(5)调查区内现有工矿企业(包括小煤窑)的生产规模、工艺特点、污染物种类及其排放量、污染程度和治理现状。

(6)通过调查、监测分析,初步了解区内地表水、地下水、煤层及其夹矸和顶底板中可能成为污染源的物质组分。

普查报告中列有环境地质章节,其内容主要是论述普查区内影响环境的地质作用及其对环境影响现

状,并进行评价,指出在下一勘探阶段中环境地质工作的重点。

**详查阶段** 在普查阶段环境地质工作的基础上,适当进行补充调查和采样分析工作。全面调查区内天然与人为污染源、污染物的种类和排放量,选择有关评价参数和模式进行计算,并将计算结果结合在普、详查阶段获得的有关环境地质调查、监测资料,对矿区由勘探开发造成的环境影响进行预测和初步评价。

(1)对可采煤层及其夹矸和顶底板,分别采取有代表性的样品,进行有害组分(包括放射性元素及硫、磷、砷等)的分析测试,了解其赋存状态、含量及分布规律,预测这些有害组分在将来开采后加工利用或排弃于地表时,可能造成的环境影响。煤矸石(煤层夹矸、顶底板和围岩)排弃于地表时的环境影响预测,可通过类比调查和模拟试验进行。

(2)对区内地下水采取有代表性的样品,进行水质分析,结合水文地质条件,预测煤矿开采排水和污染物排放引起的水量、水质变化趋向及其对环境的影响。预测方法是,对已有资料进行研究分析,确定影响地下水水质的主要因素及其相互关系,通过建立水质模型(动力学模型、统计模型)进行预测。

(3)根据矿区的地质条件,含煤岩系的岩性、结构,煤层的埋藏深度等,预测煤矿开采造成地表塌陷、诱发地震、地裂的可能性及其影响范围和破坏程度。

(4)当勘探区有热水(气)存在时,查明其分布范围、控制因素、水温、流量、水中气体及化学组分,了解热水(气)的补给、径流和排泄条件。

(5)当煤层埋藏垂深大于500m时,在不同构造部位选择有代表性钻孔进行地温测量,确定恒温带深度、温度及地温梯度。

此外,对矿区开发造成的大气污染、地表水体污染和土壤生态的污染等,也要进行预测评价,为环境地质综合分析和环境影响综合评价提供依据。

在详查报告中,列有环境地质因素分析和环境影响预测、评价章节。其主要内容包括:①矿区自然地理环境、社会环境和地质环境概述;②影响环境的地质因素分析;③环境污染现状调查、监测;④环境污染预测和初步评价;⑤环境污染防治对策和建议。

**精查阶段** 结合矿区开发可能造成的环境问题,进行预测和综合评价,并提出环境污染防治对策和“三废”治理利用措施,为矿区开发制订环境保护规划提供依据。

(1)根据井田开拓方案、矿区地质条件和煤层赋存特点,对煤矿开采后可能引起的地表变形及其影响范围、破坏程度,进行预测评价,并提出防治措施。

(2)根据煤层夹矸、顶底板和围岩的采样分析测试资料,预测、评价这些物质以煤矸石形式排弃于地表后可能造成的环境影响。矸石堆经淋滤后析出的有害组分,渗入附近土壤和水体会造成土壤和水的污染;矸石堆一旦发生自燃,释放出的有害气体会对大气环境造成污染。这些,都要加以预测。同时,还应根据矸石的种类及其特性,提出对其综合利用的途径及处置措施,以减少其对环境的污染。

(3)根据水质监测分析资料和矿区水文地质条件以及地表水和地下水的水力联系情况,预测评价矿区开发对水体环境的影响。采煤疏干排水,可能导致地下水的补给、径流和排泄发生变化,形成区域性地下水降落漏斗,使含水层疏干,地表水源枯竭,水质恶化,地表沉降;矿井废水外排,可能污染地表水体并通过地表塌陷和导水裂隙渗入地下水水体,污染水源,对于这些问题,应结合实际资料,选取适当的参数、模式,通过计算确定其污染程度,提出防治措施和矿井废水资源化规划。

(4)根据煤质分析资料,预测评价在煤炭开采、加工利用过程中可能对环境造成的影响,这包括:选煤厂煤泥水和尾矿造成的污染及防治;煤炭燃烧释放的 $SO_2$ 、CO和 $NO_2$ 等有害气体及烟尘对大气造成污染等,针对上述具体影响,提出防治措施建议。

(5)对矿区其它污染源、污染物种类及其排放量、污染范围、污染程度进行综合分析,作出评价。

勘探结束,在提交精查地质报告的同时,提交环境地质及环境影响综合评价报告。其内容除详细分析区内环境地质因素外,主要是评述环境影响现状及预测评价矿区开发后的环境影响,并提出防治污染的措施和对策。

**环境地质图** 根据矿区环境影响现状监测和预测评价的目的与要求,选择不同类型的矿区地质图作基础底图,用不同的符号、线条或颜色来反映各环境要素的特征及其变化规律的图件。常用的矿区环境地质图有环境地质实际资料图、综合环境地质图、环境质量图等。

(1)环境地质实际资料图。主要反映矿区环境地质各要素及其调查、监测、采样点的布置。它是进行环境地质现状评价的基础图件。

(2)综合环境地质图。综合反映矿区的地质环境、自然地理环境和社会环境现状;矿区开发的工程布局;主要污染源和污染物;文物单位、旅游景点和自然保护区;环境污染防治设施 and 环境保护规划布局等。它是矿区环境地质综合评价的主要用图。

(3)环境质量图。主要反映矿区各环境要素的质量



或各环境单元综合质量的分布特征和变化规律的专题图件,包括大气环境质量图、水体环境质量图和土壤生态环境质量图等。

此外,还可根据环境地质勘查的实际需要,编制地热异常区等温线图、矿区岩溶发育程度图等有关专题图件。

(张伟才)

kuangqu shuiziyuan pingjia

**矿区水资源评价** (groundwater resource evaluation of mining area) 对作为矿区供水水源的地下水水量和水质作出定量评价的工作。它是供水水文地质勘探中一项最基本的内容。其主要目的是,确定该供水水源在符合给定水质条件下的允许开采量和补给的保证程度。

#### 评价内容

(1) 根据用户要求,评价水质,预测开采后水质是否会严重恶化。

(2) 根据水文地质条件和拟订的需水量,确定开采方案和开采量,探讨其保证程度。

(3) 评价地下水开采后可能产生的环境影响。

(4) 制订地下水资源保护措施。

#### 评价原则

(1) 根据矿区开发对水量和水质等方面的要求,合理掌握评价工作范围,在缺水矿区,研究、评价范围是包括含水层的补给、径流和排泄区在内的一个完整的水文地质单元。

(2) 水资源评价内容和精度,与矿区水资源条件、煤矿建设对水资源的需求以及供水水源勘探的阶段要相适应。不同水资源条件、水资源勘探阶段,评价内容和精度应有所不同。

(3) 要充分利用和保护水资源,大水矿区尽可能采用排供结合及矿井(坑)水综合利用方案。

(4) 充分估计地下水开采后天然流场的变化状况,地表水和地下水的可能转化关系,以使所提出的开采方案能最大限度地夺取补给量和截留天然排泄量。

(5) 充分发挥地下水储存量在地下水开采中的调节、均衡作用,最好用多年平均补给量来评价允许开采量,以便在枯水期借用地下水储存量,待丰水期加以偿还,从而保证均衡开采,并避免因地下水位降深过大而危及取水设施的正常运转。当地下水储存量足够大时,可允许主要开采储存量。

(6) 开采地下水不会对邻近的水源地及环境造成严重的不良后果。矿床疏干或矿井排水也不会对矿区供水水源产生危害。

**水量评价** 在查明含水层的边界条件,地下水的补给、径流和排泄条件;研究水文、气象和地下水动态资料;了解地下水的开采现状和今后开采规划的基础上,结合地下水的开采需要和开采方案,对矿区水资源的水量进行评价。

以往,地下水水量分为动储量、静储量、调节储量和开采储量等四大储量。这种分类方法曾在矿区水源勘探中起过重要作用。但它只反映了天然条件下各种地下水水量的组成,而未明确在某一时段内各种水量数值之间的转化关系,尤其是未能反映它们在开采前后的变化及其与开采量之间的关系。随着地下水开发强度的增大和开发规模的扩大,要求提供较可靠的开采数据。为此,中国水资源评价现已改用补给量、储存量、排泄量和允许开采量的分类计算方法。

**补给量** 指天然状态或开采条件下,在单位时间内进入水源地范围内含水层中的水量。它包括大气水渗入、地表水渗入、地下水径流的流入、越流补给和人工补给。一般说,补给量是个变量。它既与外界补给源的变化有关,又与排泄基准面或开采量变化有关。当补给源和排泄基准面相对稳定时,补给量基本是个常量。地下水开采后,含水层所能获得的开采补给量,往往比天然补给量大得多。

补给量的大小,是论证水资源地允许开采量可靠程度的主要依据。计算补给量时,多着重评价地下水补给的主要来源,必要时可分项计算。通过综合分析地下水动态与水文和气象资料,分别计算地下水多年平均补给量及丰水、平水、枯水等特征年份地下水补给量。

**排泄量** 指单位时间内从水源地范围内开采含水层中排出的地下水水量,包括天然排泄量和人工排泄量。

在矿区水资源评价中,排泄量一般不是必须计算的项目,但在排泄相对集中的地区,可用多年平均排泄量反求多年平均补给量,或通过排泄量结合区内地下水的动态,反求同期补给量,这在经济技术上比较合理。

**储存量** 指储存于水源地范围内开采含水层中的重力水体积。在潜水含水层中,即在常压条件下,实际容纳在含水层空隙中的重力水体积,称为容积储量;在承压含水层中,通过开采减压,由于含水层弹性压缩及水的弹性膨胀而释放的水量,称为弹性储量。

**允许开采量** 指通过技术经济合理的取水工程,在整个开采期内,水位降低不超过设计要求,水量、水质和水温变化在允许范围内,不危害已建水源地的正常开采,不发生危害性环境问题的前提下,单位时间内从开采含水层中能够取得的出水量。显然,允许开采量





不是任意量,它代表一定范围均衡单元内的含水层中,单位时间内以最优取水方案可以取出的最大水量。

补给量、排泄量和储存量是地下水循环体中不同的组成部分,它们互相依存并不断地相互转化,补给量转化为储存量,储存量又转化为排泄量,其中储存量是地下水补给与排泄间的均衡调节因素。在开采条件下,它们之间有三种不同的组合关系,即①当开采后增加的补给量和减少的排泄量足以和开采量平衡,且开采水量小于补给量时,称为补给型水源;②当枯水期借用的储存量在丰水期得以恢复时,称为调节(动态)型水源;③当地下水开采量大于开采中含水层所能获得的最大补给量时,长期开采将持续消耗储存量,称为消耗型水源。对于上述不同的水源,地下水资源评价的内容、侧重点和方法有所差异。

**允许开采量级别** 允许开采量依据水文地质工作程度和水资源评价的可靠性,划分为A、B、C、D、E五级。不同级别的允许开采量,其评价条件和用途不同。①E级允许开采量。在概略了解区域水文地质条件的基础上估算。②D级允许开采量。通过初步查明含水层的水文地质特征,圈出可能的富水地段,对水资源进行概略评价后估算。③C级允许开采量。通过基本查明评价区供水水源水文地质特征,初步掌握地下水的补给、径流、排泄条件和动态变化规律,利用群孔抽水或枯水期地下水动态资料,结合开采方案初步计算。④B级允许开采量。在查明水源地水文地质条件及与供水有关的环境水文地质问题;根据一个以上水文年的地下水动态资料和干扰抽水试验或试验性开采抽水试验;结合具体开采方案建立或完善数学模型的基础上,采用合理的参数和方法计算。同时,需预测在地下水开采条件下,水位、水量、水质可能发生的变化,并提出保护地下水资源的措施。⑤A级允许开采量。根据三年以上水源地连续开采动态资料,通过对地下水允许开采量进行系统的均衡计算和评价,进一步完善数学模型,对水源地的一些关键性具体问题进行专门研究和试验后进行评价。同时,要提出水源地改造、扩建和保护地下水资源的具体措施。

矿区供水水源勘探一般只提供D、C、B三个级别,大体上对应于找水(普查)、初步勘探(详查)、详细勘探(精查)三个阶段。只是由于矿区供水的实际需要,所求得的D、C级允许开采量的可靠性,较上述标准要求略高。同一水源勘探区或同一勘探阶段,可能存在勘探程度不同的区段或可靠程度不同的水量,允许计算一种以上级别的地下水允许开采量。水源地开采阶段,提交A级和部分B级允许开采量;详细勘探(精查)阶段,提交B级和部分C级允许开采量;初步勘探(详

查)阶段,提交C级和部分D级允许开采量;找水(普查)阶段,一般只提交D级允许开采量。

**允许开采量计算方法** 评价地下水开采量的方法较多,应根据勘探区的需水量、勘探阶段和水文地质条件等因素选用。常用方法有:地下水径流量法、相关分析法、干扰井群试验法、开采储存量法、开采试验法、比拟法、数值法和模拟法等。①地下水径流量法。适用于开采前后地下水均以径流补给为主,含水层厚度不大,储存量小且下游又允许疏干的条件。其允许开采量一般不宜大于最小地下径流量,只是在储存量较大时,方可在枯水期借用其部分储存量。②相关分析法。分两种情况,一是根据已投产水源地的动态观测资料,建立区域动水位和开采总量间的相关关系,预测动水位进一步下降时的允许开采量;二是利用泉或暗河的流量资料和气象资料,建立相关关系,求泉或暗河的允许开采量。前一种情况下,进一步论证所计算允许开采量值是否与补给条件相适应;后一种情况下,允许开采量一般不宜大于动态观测的枯水期流量。③干扰井群试验法。适用于含水层埋藏浅,水位下降后地表水能充分补给傍河取水装置,用岸边渗流公式可确定允许开采量。干扰井群的布置方案,要尽量与拟建井群布置结合起来考虑,以提高评价精度。评价时,应注意并掘所引起的附加水位下降值和长期开采后的淤塞对渗入的影响。④开采储存量法。适用于地下水储存量充足的条件。开采的储存量应能满足枯水期连续开采的需要量,且抽水井中动水位的下降不超过设计要求。当地下水有周期性补给时,枯水期内开采的储存量能在丰水期得到补偿;当相对于开采量的补给量很小,水源地以开采储存量为主时,动水位的下降速度和幅度应保证水源地的经济技术合理性。⑤开采试验法。根据抽水试验的实测资料直接确定或适当外推允许开采量。适用于水文地质条件复杂,补给条件难以查明或者为查明需投入过多工程量,在经济技术上不合理的条件。此法施工复杂,费用较高,一般结合地下水开采方案,探采结合,尽量直接成井。⑥比拟法。与条件相似的邻近已开采水源地相比拟,概算评价区允许开采量。适用于评价区邻近有开采水源地和相应的较系统的长期观测资料,且二者水文地质条件相似的条件。此法一般只用于允许开采量的概算或与其它方法配合,相互验证。它对允许开采量的评价精度,与评价区和邻近水源地水文地质条件的相似程度关系较大,需选择合理的比拟参数。⑦数值法和模拟法。适用于比较复杂的大中型水源地且勘探程度较高的条件,可适应各种复杂的含水结构和边界条件,在基础数据可靠的前提下,可结合开采方案较精确地评价各类水源的允许开采量。用以上各

种方法计算出的允许开采量，须论证其合理性。必要时，可采用两种或两种以上方法相互对比验证。

**水质评价** 根据水的用途，分别对天然水的物理性质、化学成分、气体成分及微生物（细菌）等的含量及性质进行评价。①生活饮用水。应按国家现行的《生活饮用水卫生标准》进行评价。在有地方病的地区，根据当地环境保护部门和卫生部门等有关单位提出的特殊要求进行评价。②生产用水。按生产或设计提出的水质要求和国家现行的有关生产用水标准进行评价。

在有些矿区，天然状态下的地下水成分不符合某种用水的要求，须经处理方能取用。此时，在评价中应考虑改善水质的技术经济合理性。而且，只有经处理能

达到用水水质标准的地下水，方可列入地下水资源评价的范畴。

在评价地下水水质时，要尽可能预测地下水开采后水质的变化，即①开采后，随着天然流场的变化，开采含水层的水，会与同一含水层中含有不同成分地段的水，或与其有水力联系的其它含水层和不同水源的水相混合；②开采后，某些原有的或可能形成的污染源，会污染开采含水层的水。因此，应根据开采后可能形成的人工流场，预测开采含水层的水质变化；调查与预测污染源及污染类型、污染质迁移途径与过程，确定可能污染的程度和范围，并提出防止水质污染的建议和处理措施。

（高洪烈）



# L

## Laiyin Meitian

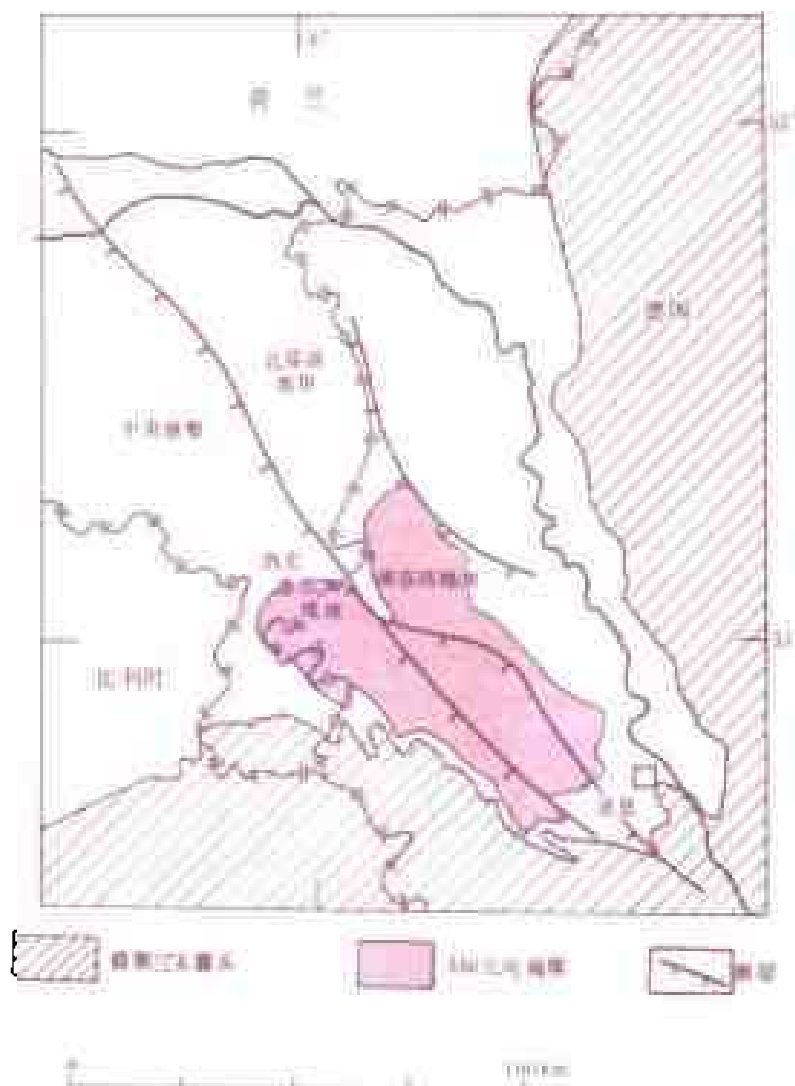
**莱茵煤田** (Rhine Coalfield) 德国第三纪煤田，又称下莱茵褐煤区 (Nieder Rhine browncoal region)，位于德国西部北莱茵-威斯特法伦州西南部的科隆与亚琛之间，邻近荷兰，主要沿莱茵河的西岸分布。煤田面积约 2500km<sup>2</sup>，是德国仅次于鲁尔煤田的第二大煤炭基地，也是当前世界上最大的褐煤—电力产区之一（右下图）。

**地质** 莱茵煤田为一大型的山间地堑，形成于晚白垩世，在更新世以前接受沉积。按地质构造特征，该煤田分为东、西两部分，西部在第三纪时沉降较深，而东部沉降较小。在各个时期，基底产生一连串的负向运动，并分裂成沉降深度不等的多个走向北西—南东的地块。与总走向横交的断层很少发育。岩层呈近水平产出，倾向北东，倾角一般 3°~7°，最大 22°。第三纪含煤岩系的赋存特征还受下伏喀斯特化石炭系的地形制约。含煤岩系中的局部褶皱与冰川活动有关。在矿区还广泛发育“假构造”现象，即因上覆岩层不均衡负荷使煤层被挤出，局部形成高 10m、宽 40~60m 的刺穿褶皱。

莱茵煤田最老的地层为泥盆系和埋藏深度达 1300~1450m 的上石炭统（含少量肥煤薄层），其上不整合覆盖晚白垩世钙质砂岩。在新生代地层中发育最好的是渐新统和中新统。渐新统厚度达 540m，由海相沉积组成。下中新统为褐煤层系（厚 150m），含有厚煤层，它们夹在石英砂层和粘土层之间。中中新统为厚度大于 300m 的砂和砂质粘土层，含有两层厚度不大的褐煤层。上中新统缺失。上覆地层厚度 10~450m 不等。

**含煤性** 莱茵煤田具有工业价值的煤

层主要分布在下中新统。始新世含煤地层的分布只局限于该煤田南部和东部边缘地带且煤层很薄。中新统以煤田中部科隆的维莱矿区一带含煤性最好，褐煤层厚度达 15~100m，平均厚 50m，主要可采煤层最厚达 100m。而在煤田南部其厚度减小，以至尖灭；在煤田



莱茵煤田示意图  
(据 H. Hager, 1993)

北部和西北部它分岔为三层并逐渐尖灭。煤层由亮煤和暗煤交替组成。有五个煤层埋藏深度为200~300m,适于露天开采。

**煤质** 莱茵煤田煤炭质量欠佳,水分50%~60%(深度每增加100m,原煤水分减少3%左右),灰分低(2%~8%),焦油产率为10%~18%,低位发热量为7.53~10.46MJ/kg。煤中含有铀、锆、锶等稀有分散元素,并以在含碳层和沥青层中的含量最高。

**资源** 莱茵煤田蕴藏的煤全为褐煤,其资源量约为55Gt,其中,证实储量约为40Gt,经济可采储量35Gt。

**开采地质条件** 莱茵煤田露天开采的剥离物为松散的砂、砂质粘土和砾石,饱含地下水,必须疏干,水煤比为8.3:1。煤层中含不规则的硬岩夹层,难于挖掘,需特殊处理。煤储量中,有2.5Gt煤的剥采比小于10,10Gt大于10,其余大于15。

**发展概况** 莱茵煤田发现于16世纪,19世纪中开始开发,1930年产量即达46Mt,1985年达120Mt,1991~1992年度产量为105.9Mt。近年矿区年产量为100~120Mt,全为露天开采。现为德国生产集中化程度最高、生产效率最高的露天矿区,剥采比为0.8~3.3。矿区所生产的褐煤,85%用于当地矿区电站发电(莱茵矿区是世界上最大的褐煤发电中心之一);15%用于精加工成煤砖、煤粉、煤焦和硫化床层煤等固体燃料。莱茵矿区还是与褐煤加工有关的大型化学工业中心。

(李濂清)

lizhou shi zuanji

**立轴式钻机** (spindle type drill) 回转式钻机的一种,其回转器的主轴较长(1m左右),且通常处于垂直状态(故称立轴)。这种钻机在岩心钻探中应用最广。经过多次重大改进,现代立轴式钻机多采用机械传动、液压给进方式,在总体布局上基本已成定式。

**工作原理** 由动力机产生的机械能经主摩擦离合器、变速箱、分动箱分别传给回转器和升降机,带动钻具回转或进行升降作业;同时,动力机又带动油泵产生压力油,通过操纵阀控制液压给进装置,在钻进时产生所需要的给进力并控制给进速度。在升降钻具时,利用移车油缸使上述各部件后退一段距离,让开孔口以便操作(参见彩图插页第38页)。

**主要部件** 包括主摩擦离合器、变速箱、分动箱、回转器、给进装置、升降机、机座及液压传动系统等。

**主摩擦离合器** 用于接通或断开钻机的动力。在

正常工作时,利用离合器的断续结合可方便地进行变速或分动操作。当钻机超载时,其摩擦片之间产生相对滑动,可避免机件损坏。按照摩擦片的种类和工作条件,主摩擦离合器分为干式和湿式两种。干式摩擦离合器用压制石棉板摩擦片,在空气中工作;湿式摩擦离合器用钢摩擦片,在油浴中工作。两者在传递的扭矩相同时,湿式摩擦离合器结构尺寸较小,但因其散热条件差,调整不方便,使用较少。早期的钻机靠平胶带传动,可实现过载保护,并且在传动胶带轮旁边附设一个直径相同的空转胶带轮,通过拨杆使胶带由一个胶带轮平滑过渡到另一个胶带轮上,即可起离合作用,因而不设主摩擦离合器。

**变速箱** 用于改变立轴和升降机卷筒的转速和扭矩,以适应不同的工作条件。早期的立轴式钻机没有变速箱,立轴和卷筒只有一种转速。随着钻探工艺的发展和钻孔深度的加大,要求转速有一定的变化范围,才设置变速箱,且其档数逐渐增多。目前应用较多的是,在三轴两级传动跨轮机构的基础上,增设一个倒档。

**分动箱** 从结构上看,是一个有离合作用的立式齿轮减速箱,其功能主要是将动力分配给回转器和升降机,使二者或者单独运转或者同时工作。有时它还可变速,以扩大钻机的调速范围。分动箱和变速箱可以合为一个整体,也可以各自独立而以万向轴相连接。前者的稳定性和整体性好,结构紧凑,传动件少,但拆装不够方便,后者则与之相反。

**回转器** 钻机的主要执行机构之一,其功用是使钻杆以需要的转速和扭矩作正向(顺时针)或反向(逆时针)回转;传递由给进装置产生的给进力和起拔力,带动钻具上下运动;对钻具起导正作用,较准确地控制开孔方向。立轴通孔直径,一般大于机上钻杆直径而小于岩心管等粗径钻具的直径。升降钻具时,回转器应能让开孔口。老式立轴式钻机多采用开合式回转器,升降钻具时,将其扳到侧面。现代立轴式钻机的回转器一般都采用后移方式。卡盘是连接立轴与钻杆的重要部件,通常上、下各设一个。老式钻机上都是手动卡盘,现在一般上卡盘为液压卡盘,经常使用;下卡盘为手动卡盘,只在特殊情况下才使用。有些钻机的上、下卡盘都是液压卡盘,可实现不停车倒杆。液压卡盘型式多样,结构较复杂,但操作方便,动作迅速。

**给进装置** 其功用是调节孔底钻进压力,控制钻进速度,发生特殊情况时窜动或强力起拔钻具。老式钻机曾广泛使用手把给进和螺旋差动给进,但目前已普遍使用液压给进,通过置于立轴两侧的油缸,产生所需要的给进力和起拔力。在结构上,给进装置与回转器紧



密结合,构成一个独立的分解单元。

**升降机** 又称绞车、卷扬机,主要用于升降钻具和套管,有时也用于处理孔内事故。现代钻机的升降机普遍采用行星传动机构,其工作状态由两个抱闸控制。老式钻机使用的摩擦传动机构现已淘汰。按卷筒轴线与天车轴线的相对位置,升降机有横置式(二者平行)和纵置式(二者垂直)两种。前者有利于排绳,可延长提升钢丝绳寿命,但在钻机传动系统中常需增设圆锥齿轮传动,多用于深孔钻机,后者则相反。另外,在深孔钻机上还常设水冷或水刹车装置,以减小下降钻具时升降机制动抱闸的发热和磨损。

**机座** 在老式钻机上回转器采用开合方式让开孔口,机座为整体式;现代立轴式钻机采用后退方式让开孔口,机座改由底座和机架两部分组成。其底座固定不动,动力机和传动部件安装在机架上,可以借助移车油缸沿底座的滑道前后移动。机架又常分为前机架和后机架,正常工作时,二者联成一体,检修时可由中间拆开。

**液压传动系统** 由油箱、油泵、控制阀组、压力表和油缸组成,分别安装在钻机的适当部位。液压卡盘的油缸和移车油缸工作时间短暂,各由一个弹簧自动复位的三位四通换向阀控制;给进油缸由一组阀控制,除了给进、停止和回程三种基本工作状态之外,常增设一个浮动状态,在减压钻进时,利用串联在回油路中的节流阀,实现漂浮钻进,减少动力消耗。液压系统的工作压力用一块普通压力表监视;另有一块指重表,可以方便地计算孔底压力的大小。为了不因换挡等操作影响液压系统工作,油泵的传动从动力机和主摩擦离合器之间引出。有的钻机还加设卸杆油缸和手动油泵,用卸杆油缸可代替拧管机顺利拧松钻杆接头,节省人力和设备;在钻进过程中动力机突然发生故障时,可用手动油泵向给进油缸供油,将钻具提离孔底一段距离,避免因岩粉沉淀造成埋钻事故。

**基本特点** ①立轴的径向尺寸较小,而且导正性好(与转盘比较),适于高速回转。为适应高转速金刚石钻进的需要,目前,立轴的最高转速多在1000~1500r/min之间,有时甚至更高。②通过增加变速档数,可使立轴转速在很宽的范围内变化,兼顾多种钻进方法的要求,增强钻机对钻进不同岩层的适应能力。③改变立轴的倾角,可钻进各种方向的钻孔,能满足坑道钻探的需要,但与动力头式钻机比较,它在坑道钻探时需开凿较大的钻窝;钻进上仰孔时,升降钻具操作不方便,尤其在仰角大时,钻具易下滑,不安全。④其主传动采用机械传动,与全液压钻机比较,其传动效率较高。⑤在发生埋钻、卡钻等孔内事故时,可同时用升降

机和给进装置进行强力起拔,处理事故能力较强。⑥其给进行程较短,钻进中倒杆较频繁,辅助时间长,发生岩心堵塞的机会增多。有些钻机采用双液压卡盘不停车倒杆机构,可部分消除立轴给进行程小的不利影响。

(胡少韵)

liutiekuang

**硫铁矿** (iron sulphide deposit) 能富集成工业矿床的硫化铁矿物的总称。它主要包括黄铁矿、白铁矿和磁黄铁矿三种矿物,以黄铁矿为主。

**概述** ①黄铁矿分子式为 $\text{FeS}_2$ ,理论化学成分Fe占46.55%,S占53.45%。自然界产出的黄铁矿常含有Co、Ni、As、Se及Sb、Cu、Ag、Au等多种元素混入物。②白铁矿分子式和化学成分与黄铁矿相同,属同质二象变体。③磁黄铁矿分子式为 $\text{Fe}_{1-x}\text{S}$ (x为0.1~0.2)或 $\text{Fe}_{n-1}\text{S}_n$ ( $n \geq 8$ ),其中Fe占63.53%,S占36.47%。

**成矿时代** 硫铁矿矿床从前寒武纪到第三纪均有产出,其中重要的成矿时代有前寒武纪、寒武纪、泥盆纪、石炭纪、二叠纪、侏罗纪和白垩纪。

**矿床成因类型** ①沉积型,包括含煤岩系中、碳酸盐岩内和砂页岩内的硫铁矿矿床。②沉积变质型。③火山岩系中的硫铁矿矿床。④接触交代型。⑤热液充填型。

含煤岩系中的沉积硫铁矿矿床,实际上并非单一沉积作用形成,还经历了早期成岩作用。此类矿床在中国分布广泛,赋存层位多。主要有北方的本溪组,西南地区的上二叠统,鄂中的下二叠统马鞍山组和吉林中部的第三系桦甸组。

硫铁矿矿床多呈层状、似层状及透镜状产于含煤岩系与下伏地层的假整合或不整合面上,少数产于含煤岩系内。矿层一般有2~3层,常在大范围内连续分布。其厚度受占地形控制,在古地形凹部,矿体常较厚大;而在凸起部位,矿体则变薄或尖灭;一般厚1~3m,个别可达5m。

矿石矿物以黄铁矿为主,有少量白铁矿。脉石矿物主要为粘土矿物以及绢云母、硅质和碳质有机物。常见矿石构造为块状、浸染状和结核状。

**工业用途** 硫铁矿是重要的化工矿产,是制造硫酸和炼制硫磺的矿物原料。随着生产技术的提高,硫铁矿矿石烧渣将会成为炼铁的原料之一。硫铁矿矿物内常伴有稀有分散元素,同时也是贵金属的重要载体。

**资源分布** 世界硫铁矿分布广泛,几乎遍及全世

界各个国家和地区。其中资源比较丰富的国家有中国、美国、独联体国家、加拿大、日本、西班牙、葡萄牙、南斯拉夫以及印度、法国、挪威、希腊等。

据1988年资料,中国硫铁矿矿床有300多处,主要分布在辽宁、吉林、黑龙江、内蒙古、山西、青海、安徽、福建、浙江、四川、贵州等省区。

中国含煤岩系中的硫铁矿矿床,主要分布在山西、川南以及豫北、云南、贵州、湖北等地。著名产地有山西阳泉、贵州遵义等。

**资源量** 世界硫铁矿资源总量估计在1.428Gt以上,除中国外,世界各国单一硫铁矿床很少,基本上都是黄铁矿型铜矿和黄铁矿型多金属矿床。

中国硫铁矿资源丰富,探明储量居世界前列。含煤岩系中硫铁矿储量估计约占一半以上。此类矿床虽然规模大,但由于矿层薄,品位低,矿石粒度细,至今尚未大规模开采利用。近年来,随着工业发展对硫矿资源需求量不断增加,煤系硫铁矿的开采、回收、利用已引起有关部门重视。目前,正着手一批煤矿硫铁矿回收的设计投产工作。

(张鹏飞 刘钦甫)

## Liupanshui Meitian

**六盘水煤田** (Liupanshui Coalfield) 中国华南聚煤区煤炭资源最丰富的晚二叠世煤田。其分布范围以贵州省西部的六盘水市为中心,包括六枝、盘县、水城三个特区以及毗邻的威宁、纳雍、普定、镇宁、关岭、晴隆、普安等县的部分地域,总面积约10000km<sup>2</sup>。该煤田分六枝、盘县及水城三个煤产地,由六枝、盘江、水城三个矿务局分别开发,产出炼焦煤,已成为中国南方最大的炼焦煤供应基地(下页图)。

**地质构造** 六盘水煤田总体为上古生界及三叠系组成的全形褶皱区,以梳状褶曲为主,长、短轴向斜均有,轴向有北西、南北及北东三类,长轴状背、向斜以北西向为多,短轴向斜一般为南北向(见下页图)。向斜轴部地层均为三叠系;向斜外围为早二叠世阳新统及石炭系;上二叠统下部为峨嵋山玄武岩组(P<sub>2g</sub>)、上部为龙潭组(P<sub>2l</sub>)含煤地层,该层赋存于向、背斜的翼部,在整个煤田中大多连续延展,仅在短轴向斜中呈孤立封闭状态。区域性断裂以与地层走向斜交的平推断层为多,走向断层不多见;中、小型断裂构造比较发育。火成岩于区内尚未发现。

**煤系** 六盘水煤田含煤地层为晚二叠世龙潭组,厚192~647m,龙潭组由海陆交替相砂岩、泥岩夹煤层及石灰岩组成,自西向东,石灰岩层数及厚度不断增

加,砂岩、泥岩在煤系中所占比例逐渐降低。煤系中含煤层数十层,其中可采煤层一般7~10层,可采煤层总厚2.74~57.85m,总趋势是由西向东减薄(表1)。

表1 六盘水煤田各煤产地含煤情况表

| 煤产地 | 煤层层数   | 可采煤层层数 | 可采煤层总厚度(m) |
|-----|--------|--------|------------|
| 六枝  | 10~40  | 2~10   | 4.01~36.30 |
| 盘县  | 8~67   | 2~33   | 2.74~57.85 |
| 水城  | 20~108 | 8~38   | 8.68~45.00 |

**煤炭资源** 六盘水煤田煤炭资源量约50Gt,探明煤炭储量14Gt。煤种为炼焦煤及无烟煤。煤的灰分较高,一般为中—高灰。硫分在水城是煤系上部高、下部低;盘县则是煤系中、上部低,下部高;六枝煤中硫分普遍增高,以高硫煤为主。高硫煤经洗选后,洗矸中的硫可予以回收,煤中黄铁矿亦为共生矿产资源。水城煤产地的部分煤层中,镓、铈、钨、铌等元素达到工业利用品位,可考虑综合利用。

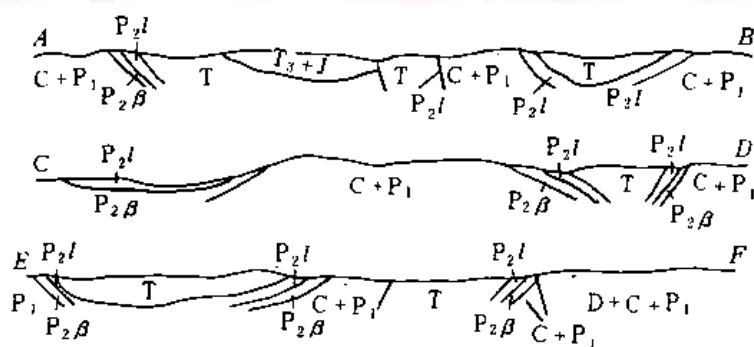
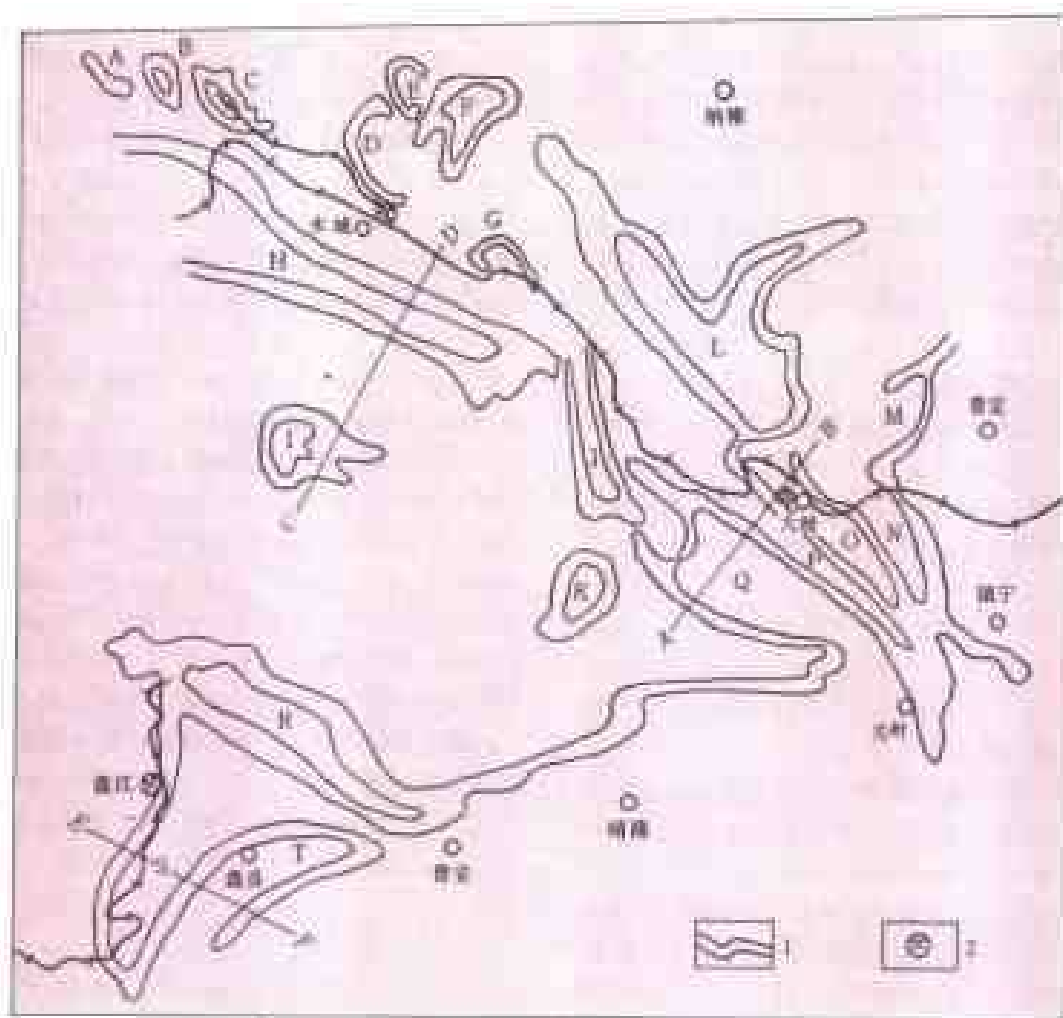
**开采地质条件** 六盘水煤田中多数煤层为薄—中厚、缓倾斜—倾斜煤层。构造条件中等或比较复杂,以小断层为主。山区受地形切割,部分地段可用平硐开采,一般以斜井为多。水文地质条件一般较简单,通常因山区侵蚀基准面低,下伏地层下二叠统、石炭系喀斯特溶洞发育,地下水排泄十分畅通。煤层瓦斯含量普遍很高,大部生产矿井均属高瓦斯矿井,并有瓦斯突出危险。煤尘亦有爆炸危险。部分矿井在开采后有煤层自然发火现象。

**开发简况** 据记载,在清末和民国时期,六盘水煤田内已有较多小窑开采,供当地燃用,并炼土焦供冶炼用。1964年后,该煤田开始较大规模的正规开发,现已建成六枝、盘江、水城三个矿务局,煤炭年产量逾10Mt,加上地方煤矿,全煤田年产煤已超出20Mt,成为中国南方产煤最多的一个煤田(表2)。

表2 六盘水煤田各矿务局产煤情况表

| 矿务局 | 产煤能力(Mt/a) | 主产煤种          |
|-----|------------|---------------|
| 六枝  | 1.25       | 焦煤、瘦煤、贫煤      |
| 盘江  | 4.00       | 气、肥、焦、瘦、贫、无烟煤 |
| 水城  | 6.00       | 焦煤、瘦煤、焦煤      |

(王煦曾)



六盘水煤田示意图

1—晚二叠世煤系出露地带：A 香炉山向斜，B 结里向斜，C 二塘向斜，D 大河边向斜，E 神仙坡向斜，F 土地垭向斜，G 小河边向斜，H 格目底向斜，I 杨梅树向斜，J 蟠龙向斜，K 中营向斜，L 比德向斜，M 梅子关背斜，N 大煤山背斜，O 六枝向斜，P 三丈水背斜，Q 郎岱向斜，R 土城向斜，S 盘关向斜，T 旧普安向斜；2—矿务局

## Luer Meitian

**鲁尔煤田 (Ruhr Coalfield)** 德国石炭纪煤田，位于德国西部北莱茵—威斯特法伦州，邻近荷兰，由莱茵河东岸的支流鲁尔河而得名。含煤地层往北倾伏，更往北抬起形成下萨克森煤田。该煤田东西长

126km，南北最宽处 57km，面积约 6200km<sup>2</sup>，其中勘探及已采面积约 3300km<sup>2</sup>，蕴藏硬煤，其硬煤资源量占全德硬煤资源量的 90% 以上。该煤田是德国最大的煤炭基地和综合性工业基地。

**地质** 鲁尔煤田基本上是在海西造山运动阿斯突

里 (Asturian) 期形成的, 其特点是宽缓的向斜与较窄的背斜依次交替, 褶皱轴走向南西—北东。煤田的主体由最大的波鸿向斜和埃姆舍尔向斜以及与其相组合的一些背斜构成。背斜被巨大的逆断层所破坏, 这些逆断层的走向与煤田褶皱轴相平行, 向南缓倾斜, 断距达 2000m。上述构造又被后期形成的大量横断层断开, 横断层断面向东倾斜, 倾角大于  $60^\circ$ 。

晚石炭世含煤岩系的厚度约为 5000~6000m。它按含煤性可分为上、下两个组: 下组不含煤, 相当于纳缪尔阶底层; 上组含煤, 厚约 5000m, 由上纳缪尔阶至上维斯特法阶的滨海相层和陆相层交互组成。含煤岩系的厚度向北西方向明显减小, 纳缪尔阶尤为明显, 在煤田中部厚约 600m, 在埃森附近厚 300m, 而在煤田西北边缘则变薄甚至尖灭。维斯特法阶的厚度较为稳定。

按煤变质标志, 该含煤岩系可划分为六组, ①长焰煤组 (维斯特法 C 阶); ②长焰煤—气煤组; ③气煤组 (维斯特法 B 阶); ④肥煤组 (维斯特法 A 阶); ⑤焦煤组; ⑥瘦煤组 (纳缪尔 C 阶)。

**含煤性** 鲁尔煤田晚石炭世煤系的含煤系数约 3%, 是欧洲石炭纪煤田中含煤系数最高的煤田之一。共含煤层和煤线 130~200 层, 其中可采煤层 48~60 层, 总厚度为 80m。含煤地层在剖面不同部位的含煤性不同, 以中部 (气煤组和肥煤组层位) 煤层最为富集, 而下部与上部 (焦煤组和瘦煤组与长焰煤—气煤组层位) 含煤性低。可采煤层的厚度为 0.5~2.8m, 平均厚 1.1~1.2m, 有时几个煤层合并为一层, 厚度可急剧增大至 6m。

各煤层通常由几种不同煤岩类型的煤分层组成。在大范围内发育的煤层, 不仅厚度、外形和煤岩类型都很稳定, 而且其煤岩类型的交替顺序、灰分、黄铁矿含量、水分等也很少变化。

**煤质** 鲁尔煤田的煤以腐植煤为主, 偶有腐泥煤。绝大多数煤为光亮煤, 而暗淡煤仅为厚度不等的夹层。煤的变质程度有规律地随埋藏深度而增高, 即遵循希尔特规律。同一煤层沿倾斜每加深 100m, 挥发分减少 1.0%~0.7%。

煤种从长焰煤到无烟煤的各种硬煤都有。其中, 肥煤 ( $V_{ad}$  为 28%~19%) 占 59%, 长焰煤、长焰煤—气煤和气煤占 22%, 焦煤 ( $V_{ad}$  为 19%~14%) 占 15%, 瘦煤和无烟煤占 4%。煤属低灰到中灰 (3%~18%, 一般为 6%~8%)、低硫至中硫 (0.5%~1.5%), 焦油含量高 (4%~6%), 发热量高 (肥煤的发热量达 36MJ/kg)。肥煤可生产优质冶金焦炭。

**资源** 鲁尔煤田硬煤资源, 2000m 以浅 287Gt,

1500m 以浅 76.4Gt。证实储量 (计算煤层厚度大于 0.6m, 深度 1500m 以浅) 39Gt, 占全德硬煤证实储量的 89%。近期经济可采储量 20Gt。

**开采地质条件** 鲁尔煤田开采地质条件的特点是开采深度大、地温高、矿压大、瓦斯涌出量大。目前矿井平均开采深度达 920m, 最深矿井超过 1400m。虽然该煤田的煤层、围岩稳定, 缓倾斜煤层约占 70%, 但是地质构造破坏强烈, 小断层多; 深部开采常有瓦斯突出; 地温梯度高 (每深 26~30m 增高  $1^\circ\text{C}$ ), 矿井井下平均地温已达  $40^\circ\text{C}$  以上, 加上煤层顶板不坚实、易破碎, 因而其开采地质条件较差。

**开发概况** 鲁尔煤田地理位置优越, 交通方便, 煤炭开发较早。早在 1443 年即已开采多特蒙德附近的露头煤。19 世纪初, 全区就已完成比例尺为 1:25000 的地质测量。第二次世界大战前, 鲁尔已是德国最大的煤炭基地和综合性工业基地, 有“德国工业心脏”之誉。1982 年, 鲁尔煤田商品煤产量为 70.24Mt。由于开采地质条件恶化, 采取限采政策, 现减至 54.50Mt。

鲁尔矿区长期重视煤炭资源的综合利用, 发展了与煤炭相关的一些工业部门, 包括炼焦、冶金、电力、化工、医药、机械和建材工业等, 使矿区工业高度发达。鲁尔矿区煤的气化和液化技术在世界上居领先地位。

(李濂清)

## lutukuang

**铝土矿** (bauxite) 富含铝矿物 (铝的氢氧化物) 的沉积岩, 其中  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 40\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 \geq 2:1$ 。其外文名称来自产地法国南部 Arles 附近的 Les Baux de Provence。在耐火材料工业中,  $\text{Al}_2\text{O}_3 > 50\%$  的铝土矿, 则称高铝粘土。

铝土矿常呈鲕状、豆状及土状, 常具有内碎屑和交代结构, 块状或层理构造。

**矿物成分** 主要是铝的氢氧化物, 包括三水铝石、软水铝石、硬水铝石, 其次是各种粘土矿物、陆源碎屑矿物 (如石英) 和一些自生矿物 (如方解石、菱铁矿等)。

**三水铝石** (gibbsite) 化学组成为  $\text{Al}(\text{OH})_3$ , 又称三水铝矿。常以极细小颗粒与磷绿泥石、氧化铁、氧化硅等构成混合物, 呈结核状、豆状、鲕状或凝胶状隐晶质产出。

**软水铝石** (boehmite) 化学组成为  $\gamma\text{-AlO}(\text{OH})$ , 又称一水软铝石、勃姆铝矿、勃姆石。常呈隐晶质块体或胶状体, 与其它矿物组成混合体。

**硬水铝石** (diaspore) 化学组成为  $\alpha\text{-AlO}(\text{OH})$ ,



又称一水硬铝石、水铝石。常呈鳞片状或结核状与其它矿物混合产出。

铝矿物中,三水铝石最不稳定,软水铝石次之,硬水铝石最稳定。在成岩作用过程中,一般按下列顺序转化:三水铝石→软水铝石→硬水铝石。变质作用中,硬水铝石→刚玉。因此,三水铝石型铝土矿多见于中、新生代地层中;软水铝石型和硬水铝石型铝土矿多见于中生代、古生代地层中,刚玉则多见于变质的铝土矿中。

**化学成分** 主要是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ , 其次是  $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{P}_2\text{O}_5$ 、S 等, 还经常含有 Ga、Ge、U、V、Cr、Ni 等微量元素及稀有元素。

**成矿时代** 世界铝土矿有多个成矿时代, 包括太古代、元古代、奥陶纪、泥盆纪、石炭纪、三叠纪、侏罗纪、白垩纪和老第三纪。中国铝土矿成矿时代为泥盆纪至三叠纪, 但最有经济价值的铝土矿则为形成于上石炭统本溪组底部奥陶纪或寒武纪石灰岩古风化面上。

**矿床成因类型** 主要包括风化残余型和沉积型两类。

(1) 风化残余型铝土矿。主要是在热带和亚热带炎热多雨、干湿交替的气候条件下, 岩石中的铝硅酸盐矿物(主要是长石)遭受长期风化剥蚀, 铝矿物富集而成, 又称风化壳型铝土矿。由于风化残余型铝土矿中常含有针铁矿和赤铁矿, 使矿石呈红色, 因而这种类型铝土矿也常称红土型铝土矿。其中的铝矿物主要是三水铝石。

(2) 沉积型铝土矿。包括海相沉积型和陆相沉积型。①海相沉积型铝土矿。主要形成于滨海及潟湖环境, 矿体呈层状, 其成分和厚度沿走向都很稳定, 延长可达数公里, 厚达数十米, 矿物成分单纯, 以硬水铝石为主, 可以中国贵州修文石炭二叠系铝土矿为代表。②陆相沉积型铝土矿。主要形成于大陆湖泊和沼泽环境, 矿体呈似层状或透镜状, 矿体规模一般较小, 矿石品位变化较大, 可以山东淄博上二叠统含煤岩系中的 A 层及 B 层铝土矿为代表。

中国铝土矿矿床成因类型如右上表。

中国重要的沉积型铝土矿的特点是, ①位于下古生界碳酸盐岩的古风化面上; ②位于晚石炭世海侵岩系的底部; ③位于古陆边缘的凹陷地区。

中国沉积型铝土矿, 常与铁、煤共生, 形成含煤—铝土矿—铁质岩建造。石炭二叠纪的铝土矿, 自上而下常出现如下的岩性层序:

(1) 黑色页岩或煤层

中国铝土矿矿床成因类型简表

| 矿床成因类型          | 占全国铝土矿总储量中所占地位 | 主要产地                        |
|-----------------|----------------|-----------------------------|
| 海相沉积型           | 第一位            | 山西介休、孝义、山东淄博、河南巩义、贵州修文、陕西南郑 |
| 陆相残余型<br>(风化壳型) | 第三位            | 福建连城、连城                     |
| 陆相沉积型           | 第二位            | 山东淄博、云南富民、湖北应城              |

- (2) 高岭石质粘土岩
- (3) 铝土矿层
- (4) 高岭石质粘土岩
- (5) 绿泥石质粘土岩
- (6) 赤铁矿或含赤铁矿粘土岩

假整合面

碳酸盐岩基岩

上述岩性层序说明, 铁质在风化过程中较难溶解迁移, 故首先沉积下来; 早期溶液中因含  $\text{SiO}_2$  较多而呈碱性反应, 当从陆地搬运而来的  $\text{Al}(\text{OH})_3$  刚刚进入海盆时, 溶液中硅多于铝, 因此继铁质沉积之后沉积的是高岭石质粘土岩或铝土质粘土岩。当  $\text{SiO}_2$  消耗到一定程度后, 溶液中出现铝多于硅, 铝土矿遂开始沉积。其后, 随着有机质的增多, 则沉积黑色页岩或煤层。

**工业用途** 主要用于提炼金属铝。自然界的含铝矿物共有 150 种以上, 但可以用做炼铝原料的则主要是铝土矿。铝相对密度小, 耐酸碱, 防锈, 传热、导电性强, 易于加工, 是一种极其重要的战略物资, 是现代大工业, 特别是航空航天工业极为重要的原料, 且被广泛用于建筑、运输、电气、容器和包装等民用工业。矿石中硅铝比值高时, 还可用作人造磨料、高铝耐火材料、高铝水泥原料。

**资源分布和储量** 世界铝土矿大多数属红土型, 呈带状集中分布于赤道两侧。主要产地是澳大利亚的韦帕, 南美加勒比海的牙买加、苏里南、巴西和圭亚那, 西非的几内亚、塞拉利昂和加纳以及南亚的印度等地。

中国铝土矿主要分布在华北、中南、西南三个地区, 其中山西、贵州、河南、广西四省区铝土矿储量之和占全国总储量的 80% 以上, 仅山西省探明储量就占全国总探明储量的 40%。广大的西北、东北、华东, 铝土矿储量不及全国的 0.5%, 分布极不平衡。最近, 在

青海北祁连山早石炭世地层中发现有一定规模的铝土矿。

截止 1987 年统计,中国的铝土矿和高铝粘土资源量达 1Gt 以上,居世界前列。

### 参考书目

廖士范、梁同荣等,《中国铝土矿地质学》,贵州科技出版社,1991。

(张鹏飞)



## M

mei

煤 (coal) (见综合卷)。

meibianzhi zuoyang

**煤变质作用** (coal metamorphism) 地壳中褐煤在温度、时间、压力因素影响下转变为烟煤、无烟煤、天然焦、石墨等的物理化学变化。煤变质的概念与岩石学中的变质概念不尽相同。煤对温度的反应较无机物灵敏,在相同温度和压力条件下,褐煤转变成烟煤、无烟煤时,其围岩仍处于成岩阶段。烟煤、无烟煤在演化阶段上仅相当于岩石学中的成岩阶段,超无烟煤阶段相当于岩石学中变质初始的近(准)变质阶段(anchimetamorphic stage),而半石墨和石墨阶段才进入浅变质(epimetamorphic)阶段。煤变质作用与煤化作用两个术语在表征煤演化阶段上有部分重叠而又不完全相当。煤化作用指由泥炭转变为褐煤、烟煤、无烟煤、超无烟煤的变化,而煤变质作用则指由褐煤转变为烟煤、无烟煤、超无烟煤以至半石墨、石墨的变化。

**煤变质因素** 温度、时间和压力是促使煤变质的三种因素。

**温度因素** 三种变质因素中以温度因素最重要。它促使镜质组中芳香结构发生化学变化,官能团减少、键减少、链缩短、缩聚,从而使煤的变质程度加深。煤接触变质、深成变质和区域岩浆热变质都以温度为主要变质因素,动力变质除因压力改变煤的物理性质外,也因动压力的摩擦热促使煤发生变质。煤层埋深加大,即地温增高,则煤的变质程度也加深;而同一埋深的煤层,则地温梯度越高处,煤的变质程度也越高(图1)。

成煤温度可通过人工模拟试验、测定化石色变指数和根据煤中共生矿物生成温度等途径进行探讨。

(1)人工模拟试验。W. 格洛普(W. Gropp)和H. 波德(H. Bode)1932年将泥炭或低煤化褐煤置于密封容器内加热。温度低于320°C时,虽加压到1800atm(182385kPa),试样仍不起变化;温度超过

320°C,试样就显示出烟煤的性质;加热到500°C,试样就具有无烟煤的特点,这一方面很好地说明了温度在煤变质作用中起主导作用;另一方面由于人工实验无法模拟地质时间因素在煤变质过程中起的作用,因而得出的成煤温度偏高。

(2)测定化石的色变指数。一是测定牙形刺的色变指数(CAI)。牙形刺随温度的增高由白色经褐色变到黑色,不受压力和时间的影响,而且是不可逆的(表1)。测出各级颜色变化的温度间隔,即可确定成煤温度与相应的煤变质程度。由于牙形刺是海相化石,因而CAI不能用于陆相煤系。二是测定孢粉体热变指数(TAI)。孢粉体随温度的增高其半透明度变差,颜色加深。将色变指数与热变指数进行对比,当TAI从1变

表1 牙形刺的颜色变化与温度的关系

| 色变指数 | 颜色      | 温度(°C)  | 固定碳(%) |
|------|---------|---------|--------|
| 1    | 浅黄      | <50~80  | <60    |
| 1.5  | 浅褐      | 50~90   | 55~70  |
| 2    | 褐—深褐    | 60~140  |        |
| 3    | 深灰褐—深红褐 | 110~200 | 70~80  |
| 4    | 黑褐—黑    | 190~300 | 80~95  |
| 5    | 黑       | >300    | >95    |

(据 Epstein 等, 1977)

表2 牙形刺色变指数与温度以及孢粉体热变指数、镜质组反射率对比

| 牙形刺  | 孢 粉 体   |      | 镜 质 组            |                    |                    |
|------|---------|------|------------------|--------------------|--------------------|
| 色变指数 | T (°C)  | 热变指数 | 干相组中碳<br>质重量 (%) | R <sub>h</sub> (%) | G <sub>h</sub> (%) |
| 1    | <50~80  | 1~5  | <60              | <0.1               | <40                |
| 1.5  | 80~90   | 5~10 | 60~64            | 0.1~0.11           | 40~55              |
| 2    | 90~140  | 5~9  | 64~67            | 0.11~1.1           | 55~73              |
| 3    | 110~200 | 5~6  | 67~68            | 1.1~1.95           | 74~84              |
| 4    | 190~300 | 6    | 68~80            | 1.95~2.6           | 84~95              |
| 5    | 300~400 | 6~7  | >80              | >2.6               | >95                |

(据 Epstein 等, 1977)

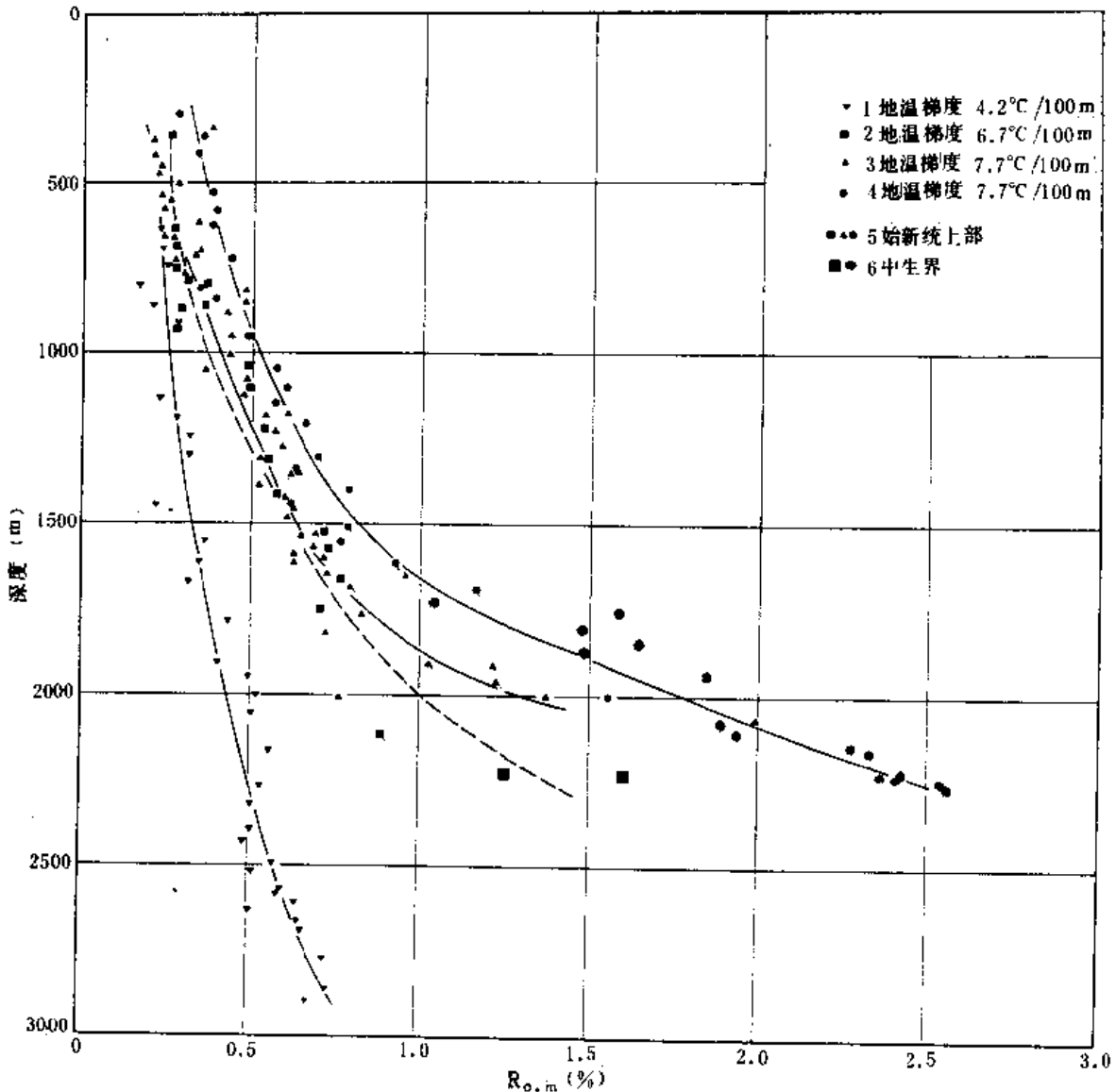


图1 上莱茵地堑钻孔中镜质组反射率与埋深的关系  
(据 M. & R. Teichmüller, 1979)

到5时, CAI未变; 而当CAI从1.5变到5时, TAI才从5变到6<sup>+</sup>~7 (表2)。因此, 色变指数在50~93°C及300~400°C温度间隔确定煤变质程度比较有效; 而热变指数更适于低煤级煤成煤温度的判定。

(3) 根据煤中共生矿物的生成温度。司塔德勒 (Stadler) 等1971年根据鲁尔煤田北部某钻孔内黄铁矿与闪锌矿未分熔、无镶嵌结构等矿化现象, 认为其产生温度低于250°C, 并推算出鲁尔煤田的石炭纪古地温梯度为4.35°C/100m; M. 泰希缪勒 (M. Teichmüller, 1968) 依据围岩粘土矿物的叶蜡石化, 推测德国布拉姆舍 (Bramche) 岩浆侵入促使早白垩世无

烟煤化的温度为300~390°C; B. 阿尔彭 (B. Alpern, 1971) 把矿物分带与具体的煤级作对照 (图2); 而巴尔克 (Barker, 1979) 则是把温度、镜质组反射率界线与矿物分带相比较。利用共生矿物的生成温度, 只能大致估计成煤温度。因为, 矿物的形成温度不仅受控于温度、压力和时间, 而且也受形成时的pH值、Eh值、水的局部压力以及其它化学条件的影响, 叶蜡石只有在钾、镁、铁离子不足和温度在200~400°C条件下才置换高岭石; 同是浊沸石, 在美国加利福尼亚蒂洪与 $R_{o,m}$ 为0.45%的有机质共生, 而在卡什、克里克却与 $R_{o,m}$ 为0.63%的有机质共生。

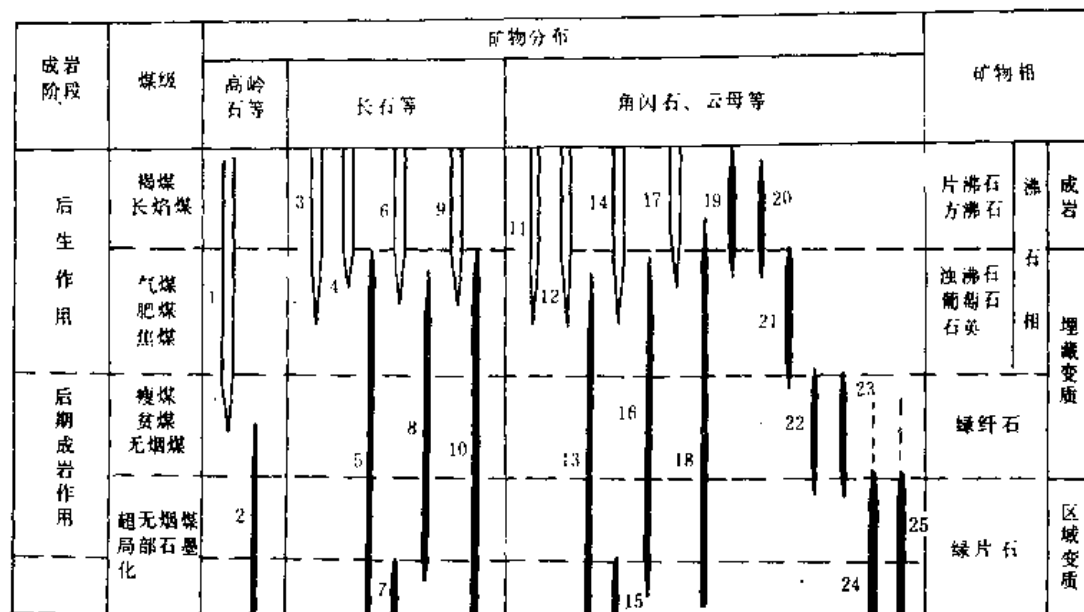


图2 煤级与矿物分带

1—高岭石；2—叶蜡石；3—黑曜岩；4—蒙脱石；5—白云母—伊利石；6—黑云母—蛭石；7—黑云母；  
8—绿泥石；9—钠斜长石；10—钠长石；11—黑曜岩；12—蒙脱石；13—白云母—伊利石；14—黑云母—蛭石；  
15—黑云母；16—绿泥石；17—中性长石与钠长石；18—伊利石；19—方沸石；20—片沸石；21—浊沸石；  
22—葡萄石；23—绿帘石；24—绿帘石；25—阳起石

(据 Alpern, 1971)

**时间因素** 指煤受热的持续时间。煤单纯经受深成变质作用（温度高于  $50\sim 60^{\circ}\text{C}$ ）时，持续的时间越长，煤的变质程度就越高。古生代煤的煤级，一般高于中、新生代煤，这一事实显然是时间因素在起作用。表3将德国下埃尔比槽地石炭纪煤与美国路易斯安那

表3 相似深度和温度的情况下，受热持续时间对煤化程度的影响

| 地 点                        | 西德下埃尔比槽地 | 美国路易斯安那州墨西哥湾沿岸 |
|----------------------------|----------|----------------|
| 时 代                        | 石 炭 纪    | 中 新 世          |
| 沉降深度 (m)                   | 5100     | 5400           |
| 温 度 ( $^{\circ}\text{C}$ ) | 147      | 141            |
| 持续时间 ( $10^9\text{a}$ )    | 2.7      | 0.16           |
| 煤化程度 $V_r$ (%)             | 16       | 37             |

(据 M. Teichmüller 资料, 1973)

州。墨西哥湾沿岸中新世煤作了比较，两处煤的埋深和经受的温度都相近，但受热的持续时间却差别很大，石炭纪的煤至今已有  $300\text{Ma}$ ，变质程度达到焦煤阶段；而中新世的煤至今还不足  $25\text{Ma}$ ，变质程度仅到气煤

阶段。显然，这种差异主要是时间因素引起的。可以认为，煤变质程度（煤化程度）是煤的受热温度及其持续时间的函数。M. Л. 列维斯坦 (M. Л. Левинштейн, 1963) 指出，当煤达到最大沉降深度或经受曾达到过的最高温度之后，其煤化作用过程并未停止，从而提出了深成变质长期性的观点。这与中国煤田地质工作者 20 世纪 50 年代强调指出的煤系厚度及其上覆岩系厚度都对深成变质起作用的观点是一致的。列维斯坦还认为，曾经受过较高温度的煤，在随后再受热时，即使温度较低，只要受热时间长，仍可进一步提高其变质程度。进而可以引申，煤在较短时间经受较高温度，可与较长时间经受较低温度（不低于  $50^{\circ}\text{C}$ ）达到相同的变质程度。J. 卡尔魏 (J. Karweil, 1956) 根据反应动力学计算出，在四种温度（即四种埋深）下，时间与煤化程度的关系（图 3）。

以上时间因素与温度因素的关系，是针对深成变质作用而言的。接触变质作用与区域岩浆热变质作用由于受热温度高、受热时间短，一般研究较少。从受热持续时间而言，以深成变质作用最长，区域岩浆热变质作用次之，接触变质作用最短。

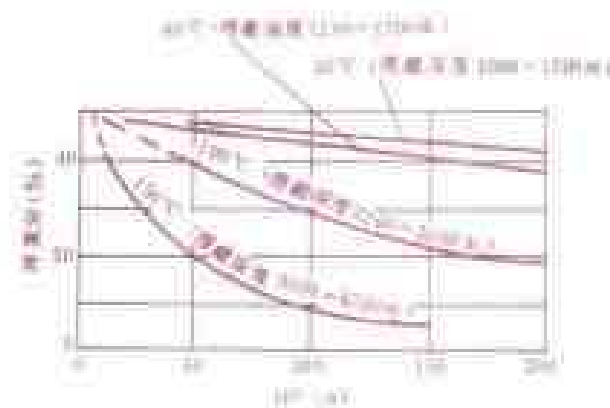


图3 据反应动力学计算, 四种温度下  
煤化时间与煤化程度的关系  
(据 J. Karweil, 1956)

**压力因素** 压力是煤变质不可缺少的因素, 但居于次要地位。列维斯坦 (M. Л. Левинштейн, 1963) 曾对苏联卡拉干达煤按  $50\text{kg}/(\text{cm}^2 \cdot \text{min})$  的速度加压, 并在加压到  $1000\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $2000\text{kg}/\text{cm}^2$  和  $5000\text{kg}/\text{cm}^2$  时, 分别测试挥发分含量  $V_{\text{daf}}$ 、碳含量  $C_{\text{daf}}$ 、氢含量  $H_{\text{daf}}$  和胶质层厚度  $Y$  值, 结果都未发生明显变化, 而  $5000\text{kg}/\text{cm}^2$  压力已相当于处在地下  $15\text{km}$ , 是煤层很难达到的深度。这有力地说明静压力并不促进煤的化学变化 (当然这个试验是在不能模拟地质时间的条件下进行的)。但压力可以使煤的物理结构发生变化。静压力可降低煤的孔隙率和水分, 增大相对密度, 促使芳环层作平行层面的有序化排列; 剪切压力可改变煤的光学性质, 增强其光学各向异性。图4展示的是德国鲁尔煤田波鸿复向斜中的石炭纪煤层等挥发分线的延展与煤层的褶皱基本一致, 说明煤的变质在中白垩世地壳运动之前已经完成。显然, 其煤级的提高并非由构造所造成。相原安津夫对日本第三纪煤提出双变质带的观点, 在日本的东北外带北海道石狩煤田, 煤系较厚,

处在低温高压带, 因而煤级较低; 而位于日本西南内带九州的天草煤田, 煤系较薄, 处于高温低压带内, 因而煤级较高。石狩煤田和天草煤田的煤系是同时期沉积的, 不同的是前者是在静压力较高的条件下沉积的。

总之, 温度因素在煤变质过程中起主导作用。在高于  $50\sim 60^\circ\text{C}$  的温度条件下, 时间和温度因素共同决定着煤级; 压力主要促使煤的物理结构发生变化。

**煤变质程度** 煤在温度、时间、压力因素作用下, 物理、化学、工艺性质变化的程度。这些变化有其规律性, 可以通过对有关参数的测试, 以确定煤变质程度的深浅。目前习惯于以煤级表示煤的变质程度。事实上, 煤的各种显微组分在煤化过程中的变化轨迹是不一致的 (图5)。根据镜质组反射率划分的九个煤级 (以煤类近似地表示煤级) 中, 褐煤处于成岩阶段, 尚未变质, 属 0 阶段; 长焰煤相当于 I 阶段, 无烟煤相当于 VII 阶段 (表4)。在应用中, 把阶段 I 和 II 的长焰煤和气煤称为低变质煤; 阶段 III、IV 和 V 的肥煤、焦煤和瘦煤称为中变质煤; 阶段 VI、VII 和 VIII 的贫煤、无烟煤和超无烟煤合称为高变质煤。

表4 煤变质程度与变质阶段及煤级

| 名称   | 变质程度 | 变质阶段 | 煤 级  | $R_{\text{max}}$ (%) |
|------|------|------|------|----------------------|
| 褐 煤  | 未变质  | 0    | 褐 煤  | $<0.40$              |
| 烟 煤  | 低变质  | I    | 长焰煤  | $0.50\sim 0.64$      |
|      |      | II   | 气 煤  | $0.65\sim 0.70$      |
|      | 中变质  | III  | 肥 煤  | $0.80\sim 1.10$      |
|      |      | IV   | 瘦 煤  | $1.20\sim 1.40$      |
|      |      | V    | 瘦 煤  | $1.70\sim 1.80$      |
| 无烟煤  | 高变质  | VI   | 贫 煤  | $1.90\sim 2.40$      |
| 超无烟煤 |      | VII  | 无烟煤  | $2.50\sim 3.00$      |
|      |      | VIII | 超无烟煤 | $\geq 4.00$          |



图4 德国鲁尔煤田波鸿复向斜与等挥发分线对比示意图  
(据 M. Teichmüller, 1968)

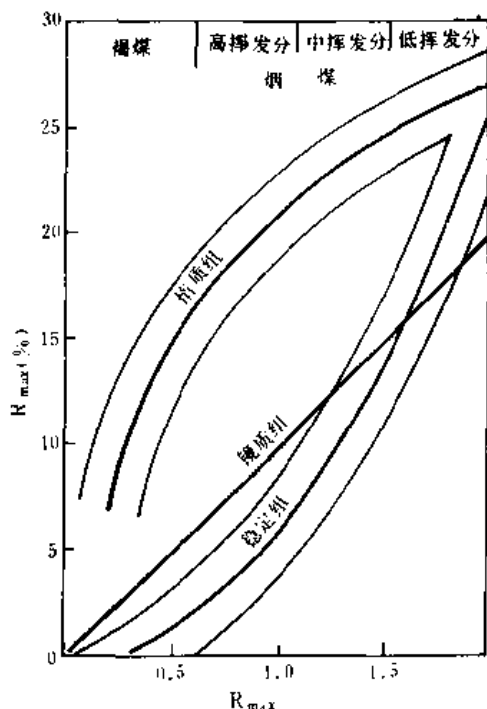


图5 三种显微组分组的煤化轨迹

(据 M. Teichmüller, 1987)

**煤变质作用类型** 温度是促使煤变质的主要因素, 根据热源及其作用方式以及煤的变质特征划分类型。目前公认的有深成变质作用、接触变质作用、区域岩浆热变质作用和动力变质作用等四种类型。

**煤深成变质作用** 煤在地下较深处受到地热和上覆岩系静压力所导致的煤变质作用。在四种煤变质类型中, 深成变质作用范围最广而且是普遍存在的。其变质热源为地热。

**煤接触变质作用** 岩浆直接接触或侵入煤层时, 因其高温、挥发物和压力所导致的煤变质作用, 其范围局限。

**煤区域岩浆热变质作用** 聚煤拗陷内强烈岩浆活动的岩浆热, 伴生热液、热气以及放射性元素蜕变热所导致的煤变质作用。

**煤动力变质作用** 由于构造变动所导致的煤变质作用, 包括断裂、褶皱引起煤的物理变化和由于构造变动转化为热能导致煤的化学变化, 其范围有限。

促使同一地区煤变质的常常不止一种热源, 而是几种热源叠加的结果。当导致深成变质的地温梯度高于平均值时, 就不能排除正常地温之外的其它热源的影响。中国赋存着丰富的中、高变质煤, 其成因很难单独以深成变质作用解释, 一度曾出现“中国煤变质程度

偏高”问题。实际上, 中国太行山东麓煤田、太原西山煤田、沁水煤田南北两端、荣巩煤田、湘中煤田, 围绕骑田岭岩体的石墨带、中高变质煤带, 永春煤田的煤, 都是在深成变质的基础上, 又叠加了以侵入岩浆热及伴生热液、热气的热为主要热源的区域岩浆热变质作用形成的。此即针对中国煤变质特点提出的“煤的多热源叠加变质”。多热源叠加变质可以是两种或多种变质作用的叠加, 也可以是先后或同时叠加。

**煤变质研究方向** 煤变质作用研究作为预测煤级和指导开发所需煤类的理论基础, 其研究动向如下:

**煤变质作用机理研究** 在煤变质过程中, 煤一切性质的变化和出现的多次跃变, 都是深入研究的内容, 特别是煤结构研究, 已取得进展, 近期改变了过去只研究结构较简单、易于溶解的烟煤的作法, 而向深入研究泥炭和无烟煤这两个方向发展, 所提出的煤结构模式也已不限于烟煤, 同时也带动了官能团反应机理等理论研究的发展。由于核磁共振、色质联用、低角度 X-射线衍射, 透射电子显微镜、扫描隧道显微镜、激光喇曼等新技术方法的应用, 煤的直观性研究得到发展, 使煤结构研究取得了不少新认识。高分辨透射电镜能够直接观察煤中芳香层的大小、形态、排列及其与煤中微孔的关系等, 除验证了过去 X-射线的研究结果外, 对煤的工艺性质研究和加工利用方面也起到了推动作用, 特别是对煤的生油潜力、煤中微孔对储气空间和油气运移通道的研究等发挥了作用。

**不同类型煤变质作用特点的研究** 对各种变质作用类型(特别是深成变质作用和区域岩浆热变质作用)特点的比较, 包括对煤本身的物理化学性质、光学特性、煤变质带特点以及围岩的变化等进行研究, 可更有效地判别研究区煤的沉降史、构造演化史、受热史和有无变质作用类型的叠加。

**新煤变质作用类型的探讨** 除熟知的 4 种煤变质作用类型外, 已有人提出构造应力变质、放射性元素蜕变热引起的变质、岩浆热液影响的热液变质和侵入岩浆的高温蒸气及热液的气成热液变质作用。深大断裂、上地幔向上运动和莫霍面局部较高都会形成地热异常, 可能成为迄今尚未发现的新的煤变质作用类型。

**完善现有煤级参数并寻找新的参数** 镜质组反射率辅以壳质组的荧光性, 是目前测试煤级最有效的参数。不过, 由于双反射率的影响, 测试高煤级煤仍不理想。因此在研究完善上述参数的同时, 还应继续寻找新的煤级参数。

**成煤温度研究** 不少学者提出过各个煤级的煤以及石墨的形成温度, 但并不一致。H. B. 洛帕金 (H. B. Лопатин) 与 D. W. 魏普勒斯 (D. W. Waples,

1971) 采用温度、时间指数法 (TTI), J. 卡尔魏 (J. Karweil, 1956) 借助阿瑞纽斯公式 (Arrhenius equation) 表示煤级、温度、时间之间的关系; N. H. 博斯提克 (N. H. Bostick, 1973) 作出的最高岩石温度、有效受热时间与镜质组反射率的关系图, M. B. 戈里岑 (M. B. Голыцин, 1975) 根据温度对煤化作用 (煤变质作用) 速度的影响, 计算温度与受热时间的变质冲量公式等, 都是在探讨成煤温度。对中国形成煤变质分带起重要作用的区域岩浆热变质作用的形成温度, 即不同形态、规模、岩性的岩浆的侵入温度以及岩体在各种地质条件下的散热速度、岩浆热作用于煤层的持续时间等。

区域性煤化作用规律性研究 借以合理开发和利用煤资源, 并开辟地质找矿新领域。

#### 参考书目

杨起、韩德馨等, 《中国煤田地质学》上册, 煤炭工业出版社, 1979。

Stach's Textbook of Coal Petrology, Third Edition, Gebrüder Borntraeger, Berlin, Stuttgart, 1982.

(杨 起)

meiceng

**煤层** (coal seam, coalbed) 含煤岩系中赋存的层状煤体。它是泥炭沼泽中植物遗体经泥炭化作用转变成的泥炭层, 被埋藏后又经煤化作用而形成。

**煤层底板** 煤层下伏岩层。煤层底板一般为粘土岩、泥质岩和粉砂岩。由成煤植物生长的土壤形成的、富含植物根化石的底板称根土岩, 又称底粘土。

**煤层顶板** 煤层上覆岩层。煤层顶板由覆盖泥炭层的沉积物经成岩作用而成。内陆泥炭沼泽堆积的泥炭层, 其顶板一般为由湖泊或河流环境中沉积的泥砂转变而成的沉积岩, 其中常含有丰富的植物化石。滨海泥炭沼泽堆积的泥炭层, 其顶板一般为潟湖、海湾或浅海环境沉积的泥砂或石灰质转变而成的泥质岩、粉砂岩或石灰岩, 其中常含海生动物化石。

**顶板与煤层的接触关系** 有逐渐过渡接触、明显接触和冲刷接触等三种情况。①过渡接触, 煤层与顶板之间夹有薄层炭质泥岩、泥质岩、粉砂岩, 有时还含薄煤层, 其厚度一般在 0.5m 以下, 随采随落, 一般称伪顶, 反映煤层与顶板的沉积环境是逐渐过渡的; ②明显接触, 煤层与顶板的界限分明, 接触面较平整, 反映沉积环境发生迅速变化; ③冲刷接触, 接触面凹凸不平, 顶板一般为含煤屑的中粗粒砂岩甚至砾岩, 反映泥炭层形成后, 曾遭受河流或海浪的冲刷。

**夹矸** 又称夹石层, 夹在煤层中的其它沉积岩。夹

矸常见的岩性有碳质页岩、泥质岩、粉砂岩和高岭石泥岩等, 有时为石灰岩或砂岩。夹矸在煤层中呈薄层状、似层状、透镜状或不规则状, 厚度一至数十厘米, 在巨厚煤层中可达 1m 以上。夹矸的层数不等, 有的煤层无夹矸, 有的煤层所含夹矸可多达数十层。

夹矸大多由泥炭沼泽水体加深, 短期内呈湖泊或浅海, 沉积泥砂或石灰质, 后水体又变浅, 植物再度繁殖, 泥炭继续堆积而成。这种方式形成的夹矸一般比较稳定, 分布较广。高岭石泥岩夹矸常呈薄层稳定分布于煤层中, 可用于煤层对比。这类夹矸除正常沉积外, 部分可能是火山灰转变而成。在煤层中呈不规则透镜状存在的砂岩夹矸, 大都为泥炭沼泽中的河流沉积物。

**结核** 煤层中有时能发现大小不一、形态各异的结核。结核外表常有一层煤皮, 打碎后可见同心球状结构, 中心为泥砂或胶体化学成因的沉积物, 有时赋存生物化石。保存有石化植物的结核称煤核。结核一般呈透镜体、瘤状、豆状、鲕状, 往往沿某一层位断续分布。结核成分和泥炭沼泽水介质化学条件有关。石灰质、白云质结核一般形成于滨海泥炭沼泽, 与海水入侵有关, 少数为湖水入侵形成。黄铁矿  $\text{FeS}_2$  结核反映泥炭沼泽处于滞水强还原环境。菱铁矿  $\text{FeCO}_3$  结核则在弱还原环境中形成。

**煤层结构** 煤层中夹矸的数量和分布特征。据此, 煤层可分为简单结构煤层和复杂结构煤层。①简单结构煤层, 指不含夹矸或夹矸层数很少的煤层。②复杂结构煤层, 指含夹矸层数较多的煤层。

**煤层形态** 煤层在空间展布特征。根据煤层在剖面上的连续程度分为层状、似层状、不规则状煤层。不规则煤层又可分为藕节状、串珠状、鸡窝状、马尾状等煤层形态 (图 1)。

煤层形态主要取决于泥炭沼泽本身形态及地壳运动。滨海平原沼泽面积大, 所堆积泥炭层分布广且稳定, 呈层状。河滩洼地泥炭沼泽面积小, 且多呈不连续分布, 所堆积泥炭层的形态一般也不规则或呈透镜体。

**煤层稳定性** 煤层形态、厚度、结构和可采性在空间的变化程度。据此, 可将煤层分为稳定煤层、较稳定煤层、不稳定煤层和极不稳定煤层 (见勘探类型)。

**煤层的形成** 煤层由植物遗体堆积层经泥炭化作用形成的泥炭层再经煤化作用转化而成。泥炭层厚度主要取决于泥炭沼泽基底下沉速度与植物遗体堆积埋藏速度之间的关系。①当两者大体平衡时, 地表一直处于泥炭沼泽环境, 植物遗体不断堆积, 并转变成泥炭, 这种平衡关系维持时间越长, 泥炭层就越厚。一旦地壳

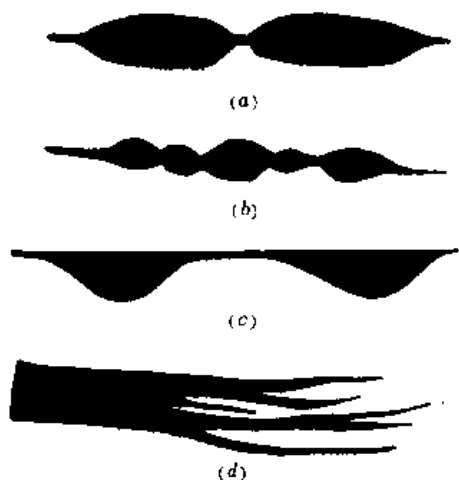


图1 煤层形态

a—藕节状煤层；b—串珠状煤层；  
c—鸡窝状煤层；d—马尾状煤层

下降速度大于植物遗体堆积速度时，水体逐渐加深，由于本本植物在水深超过 0.5~1.0m、草本植物在水深超过 2.0~3.0m 时，便不能生存，因而泥炭层就被其它泥砂沉积物覆盖，形成夹矸或顶板。②当沼泽基底下降速度小于植物堆积速度或地壳上升速度时，水体将逐渐变浅以至干涸，植物遗体便会暴露于空气中，最后将分解殆尽，甚至连早期已形成的泥炭层也可能遭到剥蚀。

被其它沉积物覆盖而埋藏在地下的泥炭层，经煤化作用转变成褐煤时，其层厚缩减比一般为 (2~2.5) : 1；转变成烟煤时层厚缩减比为 (4~4.5) : 1；转变成无烟煤时层厚缩减率为 (5~7) : 1，即 1m 厚的无烟煤层系由 5~7m 厚的泥炭层压缩变化而成。层厚缩减率还与煤中矿物杂质含量有关。致密泥炭转变成无烟煤的过程中，当其矿物杂质含量在 20% 左右时，层厚缩减比约为 5.5 : 1；矿物杂质含量在 10%~12% 时，层厚缩减比为 (6~7) : 1。

**煤层厚度** 煤层顶板与底板之间的垂直距离。扣除煤层中夹矸厚度的煤层厚度，称煤层有益厚度（图 2）。图中，煤层厚度为 2.9m，夹矸厚度为 0.6m，有益厚度为 2.3m。达到国家规定最低可采厚度的煤层，称可采煤层。

**最低可采厚度** 在当代技术和经济条件下，可开采的最小煤层厚度。它主要取决于煤层倾角、煤质、开采方法和当地煤炭的需要程度。地下开采煤层倾角小于 25° 时，炼焦用煤最低可采厚度为 0.7m，非炼焦用

煤为 0.8m；倾角在 25°~45° 时，炼焦用煤与非炼焦用煤的最低可采厚度分别为 0.6m 和 0.7m。露天开采煤层最低可采厚度为 1.0m。缺煤地区则分别降低 0.1m。

煤层厚度在空间会发生变化，直到分岔、尖灭。①煤层分岔，指单一煤层在空间分开成若干煤层的现象。②煤层尖灭，指煤层在空间变薄以至消失的现象。

煤层厚度变化是各种因素综合作用的结果。按其成因，可分为原生变化和后天变化。前者指泥炭层堆积过程中，由沼泽基底不平、沼泽基底不均衡沉降、同生冲刷等因素造成的煤层厚度变化。后者由后天冲刷、构造挤压、岩浆侵入、喀斯特陷落等因素造成的煤层厚度变化。

(1) 沼泽基底不平，指泥炭首先在沼泽低洼的地方堆积，泥炭层逐渐加厚后，原先彼此隔绝的泥炭层便连成一片，从而造成煤层厚度的变化。

(2) 沼泽基底不均衡下降，指造成泥炭沼泽范围内不同地区复水程度的变化，引起泥炭的不均衡堆积。这种现象，以断陷煤盆地最突出。当泥炭堆积过程伴有同生断裂活动时，断层一侧下沉缓慢，与植物遗体堆积速度长期保持均衡，可形成厚煤层；而断层另一侧下降程度不一致，地表时而为沼泽、时而为湖河，形成短距离内由一个厚煤层分岔成若干薄煤层呈马尾状。中国抚顺、阜新等煤田都有这种现象。

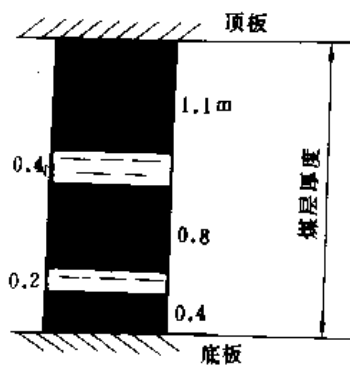


图2 煤层厚度

(3) 煤层冲刷，指泥炭层形成过程或形成后，由于河流、海浪或冰川的冲刷作用，泥炭层局部或全部被破坏，致使煤层厚度局部变化的现象。①同生冲刷，指在泥炭堆积过程中所遭到的冲刷。②后天冲刷，指泥炭层被其它沉积物覆盖后遭到的冲刷（图 3）。

(4) 构造挤压，指煤层受构造挤压容易破碎并发生塑性流动，产生局部加厚、变薄、尖灭现象，甚至发生和顶、底板互相穿插等变化。



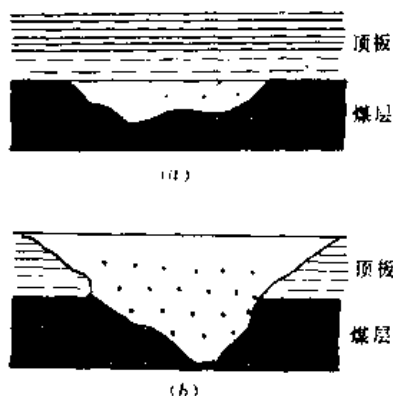


图3 煤层冲刷

a—同生冲刷；b—后生冲刷

(5) 岩浆侵入，指煤层较软易受岩浆入侵，使煤层厚度、结构和煤质遭受破坏，甚至被吞食或变成天然焦。

(6) 靠近地表的煤层，因受风化作用影响，厚度将大幅度减小（见煤风化作用）。

煤层是煤矿开采的对象。煤层的厚度、空间分布及其稳定性决定了开采方法。

(1) 中国将煤层按厚度分为薄煤层、中厚煤层和厚煤层。①薄煤层，指地下开采时厚度在1.3m以下的煤层；露天开采时厚度在3.5m以下的煤层。②中厚煤层，指地下开采时厚度为1.3~3.5m的煤层；露天开采时厚度在3.5~10m的煤层。③厚煤层，指地下开采时厚度在3.5m以上的煤层；露天开采时厚度在10m以上的煤层。

(2) 中国将煤层按倾角分为近水平煤层、缓斜煤层、中斜煤层和急斜煤层。①近水平煤层，指地下开采时倾角在8°以下、露天开采时倾角在5°以下的煤层。②缓斜煤层，又称缓倾斜煤层，指地下开采时倾角为8°~25°的煤层；露天开采时倾角在5°~10°的煤层。③中斜煤层，又称倾斜煤层，指地下开采时倾角为25°~45°、露天开采时倾角为10°~45°的煤层。④急斜煤层，又称急倾斜煤层，指地下或露天开采时倾角在45°以上的煤层。

煤田地质勘探要探明煤层的空间分布、厚度、结构、顶、底板岩性变化，并绘制各煤层的底板等高线图、煤层等厚线图等有关图件，供开采设计使用。

近年来，煤田地质工作者采用煤沉积模式理论重塑聚煤古地理，研究煤层的形成及其在含煤岩系中的分布，煤层的形态及其稳定性；根据煤相研究，了解煤层的形成环境和形成过程及其对煤岩类型、煤的灰分

和硫分、煤层夹矸形成的影响；通过煤层顶板岩相古地理的研究，指导巷道布置和顶板支护；通过对地质构造和岩浆活动的研究，掌握煤层受后期改造的情况及其规律。

(叶敦和)

## meiceng caiyang

**煤层采样** (coal-seam sampling) 又称煤层取样，按一定的规格和要求，从煤层中采取一小部分具有代表性的，供分析、试验和鉴定用的样品。煤层采样的目的是通过对煤样的化验和物理试验所获得的资料，确定矿区或井田内可采煤层的煤种、煤质特征及其变化规律和煤的工艺性能，以便正确评价煤质，确定煤的加工技术特性和工业利用方向，为煤炭资源的开发和合理利用提供可靠的煤质资料。

**煤样分类** 根据采样目的和研究内容的不同，煤样分为化学煤样、工艺煤样、煤岩—孢粉样和煤(岩)技术样。

**化学煤样** 为进行化学分析或试验，以确定煤的物质成分(可燃物质、非可燃物质和有害杂质)与特征而采取的煤样。其任务是，①为了查明煤质特征及其变化规律，确定煤种；②初步判断煤的工艺性质和用途，为进一步采取工艺煤样指出方向。此外，对与煤共生或伴生的其它有益矿产的矿样或岩样，也要进行化学分析和试验；对其品位和工业利用作出初步评价。化学煤样是应用最广泛的一种煤样，它是评价煤质的基础。在煤田地质勘探各阶段，所有可采见煤点都必须采取化学煤样。

(1) 化学煤样分析试验项目包括工业分析、全硫和各种硫、发热量、元素分析、煤灰成分、灰熔融性、胶质层等，对于风化带煤，还有腐植酸含量。

(2) 化学煤样样品的种类包括煤心煤样、煤层煤样、风(氧)化带煤样、腐植酸煤样等。

**工艺煤样** 为进行实验室、半工业或工业规模的试验而采取的煤样。采取工艺煤样的目的是为了研究煤的工艺性能，评价煤的加工技术特性，确定煤的工业用途。工艺煤样的质量要求较大，一般为数百公斤、数吨到十几吨。工艺煤样一般是在勘探坑道中采取煤层煤样或在生产矿井中采取生产煤样。当勘探区及附近没有勘探坑道或生产矿井时，则用大口径钻孔或群孔采取工艺煤样。工艺煤样样品的种类包括筛分浮沉煤样和半工业性试验煤样。

(1) 筛分浮沉煤样。又称可选性试验煤样，即用于进行筛分试验与浮沉试验的煤样。筛分试验主要是了解各种粒度的煤所占的质量百分比及各自的煤质特



征。浮沉试验是了解煤的可选性,评定煤的用途和工业价值,为选煤厂设计提供依据。

(2)半工业性试验煤样。用于在接近生产条件下进行各种工艺性能试验的煤样。根据煤的用途和试验项目的不同,半工业性试验煤样样品的种类包括炼焦半工业煤样、炼油半工业煤样、气化半工业煤样、燃烧半工业煤样等。

**煤岩-孢粉样** 为研究煤的岩石学特征,了解煤的物质成分、变质程度和工艺性能而采取的煤岩煤样和为研究煤或岩石中所含孢子或花粉的类型及其组合关系而采集的孢粉样的总称。前者主要通过肉眼观察和镜下鉴定,研究煤的物理性质、宏观煤岩类型和显微煤岩组分,分析成煤原始物质的聚积和转化环境,判断煤的变质程度,为煤质评价提供依据。后者主要是用以对比煤层、确定煤层层位、划分地层、确定地层或煤层的地质时代。

**煤(岩)技术样** 为研究煤和岩石的物理机械技术性能而采取的样品。技术样主要用来研究和测定煤的强度、块度、视密度、瓦斯含量和瓦斯成分,煤尘爆炸性和煤层顶、底板岩石物理力学性质等。技术样的种类包括视密度煤样、瓦斯煤样、煤尘煤样、煤层顶底板试验样等。

**采样技术手段** 根据采样途径的不同,煤层采样的技术手段分为钻孔中采样、坑道中采样和煤矿生产中采样等三类。

**钻孔中采样** 以钻探取得的煤心作为样品。由于钻孔直径小,为保证煤心煤样的代表性和煤层厚度的可靠性,要求可采见煤点的煤心采取率不低于75%,煤层顶末、底初回次采取率也不低于75%。若钻探质量不能满足上述要求时,应采取补救措施,进行技术校核或补充采样。

在隐伏区,煤田勘探阶段通常用大口径钻探(直径168~300mm)采取工艺煤样。当覆盖层厚度较大、钻机能力限制不能利用大口径钻孔采样时,可用普通口径钻孔(直径127~168mm)组成的钻孔群采样。在煤层厚度大、且煤质松软条件下,可采用扩孔刮煤采样,以满足工艺煤样的质量要求。

**坑道中采样** 在煤田地质勘探中从探槽、探井、探巷和生产矿井的巷道中采取煤样。常用的采样方法包括刻槽法、全巷法、剥层法、方格法和拣块法。

**刻槽法** 从整个煤层或煤分层由顶到底垂直层面进行刻槽采取煤样的方法。样槽的规格取决于煤层(或煤分层)的厚度、结构、煤样质量和煤的物理性质,槽的宽度和深度一般有 $25 \times 25 \text{cm}^2$ 、 $15 \times 15 \text{cm}^2$ 和 $10 \times 10 \text{cm}^2$ 三种。刻槽法是巷道内取样的主要方法。

**全巷法** 在煤层内掘进巷道时,将某一段巷道所掘出的全部煤炭作为样品,其质量可由数吨至数十吨,主要用于研究煤的工艺性能与加工方法的工业性试验。

**剥层法** 在坑道煤壁上剥取一层等深度的煤作为样品,剥层深度一般要求大于25cm。

**方格法** 在坑道煤壁上按一定的间距布置正方形、矩形或菱形网线,然后在网线的交点上各采取一块大小相等的煤,最后将其集中在一起作为一个煤样。

**拣块法** 在坑道内的煤堆上,布置方形绳网,然后在每一方格中收集一份等量的样品,最后将其集中在一起作为一个煤样。

**煤矿生产中采样** 在煤矿正常生产过程中采取的煤样,即生产煤样。该项工作一般由矿井地质人员负责采取,有时资源勘探部门也要进行此项工作。生产煤样的采取方法包括矿车采样法、煤流采样法。

**矿车采样法** 以矿车为单位,车数不少于12车,每隔一定数量的煤车或一定时间间隔采取一车,煤样总质量不得少于0.5t。

**煤流采样法** 在带式输送机、刮板输送机、装车站放煤口等处按一定时间间隔截取取样,份样个数最少为36个,每个份样重量不少于150kg。

### 采样方法

**煤层煤样** 在生产矿井、小窑或勘探坑道中,用刻槽法从一个煤层采取的煤样。其目的是研究全煤层、煤分层的煤质,以便分煤类计算煤炭储量,为开采利用和研究煤的成因提供依据。煤层煤样分为全层煤样和分层煤样。

**全层煤样** 从煤层顶板到底板所采取的全部煤层(包括全部煤分层)的混合样品。其目的是了解煤层总的煤质特征,检查分层煤样采取的准确性并决定分层煤样的试验项目。

**分层煤样** 根据煤层结构、煤岩类型分层或厚煤层按一次采高而分层采取的煤样。

煤层煤样的重量较大,代表性较强,可做多种化验和测试,很多专门煤样是由煤层煤样制备而成,是研究煤质的重要样品。

**煤心煤样** 从钻孔煤心中采取的煤样。在煤田勘探阶段,机械岩心钻探是目前最主要的勘探手段之一,煤心煤样样品的个数最多,其化验结果是最重要的基础煤质资料。

煤心取出后,要及时进行采样,一般以独立煤层为单位采取全层煤样;厚煤层可采取分层煤样,分层厚度一般不大于3m,且各采样点的分层必须互相一致;煤层结构及煤岩类型有显著差异的煤层,应根据具体情



况分层采样;有专门研究目的的煤心煤样的分层厚度,则根据需要而定。

**煤岩煤样** 供作煤岩鉴定用的煤样。一般分为混合煤样、柱状煤样、块状煤样。

**混合煤样** 用以研究煤的基本性质和工艺性能。混合煤样可利用煤心煤样或煤层煤样缩取,一般不专门采取。

**柱状煤样** 用以研究煤的成因和地质规律。柱状煤样是在井下工作面用专门方法从顶板到底板采取的原位煤柱体。柱状煤心也可作为柱状煤样。

**块状煤样** 煤质坚硬时,可用连续块状煤样代替柱状煤样。块状煤心也可用作块状煤样。

#### 半工业性试验煤样

**炼焦半工业性试验样** 一般从坑道内用刻槽法采取,刻槽规格根据煤层厚度和送样质量确定;也可从可选性煤样中缩取。无坑道时,用大口径钻孔或群孔采取煤样,也可用校正器刮煤采样。炼焦半工业性试验样的重量为250~1000kg。主要试验项目有装炉煤的工业分析、磷含量测定、元素分析、胶质层测定、精煤回收率、成焦时间、炉温或炼焦温度、粒度等。炼出的焦炭的试验项目有工业分析、焦炭筛分试验和库姆转鼓试验。对于主焦煤和瘦焦煤,根据需要增作膨胀压力试验。

**煤气化指标测定样** 包括机械强度试验样、热稳定性试验样、活性测定样和结渣性试验样。

**可磨性测定样** 利用煤层煤样或煤心煤样制取。

**小型煤气发生炉半工业性试验样** 又称固定床发生炉半工业性试验样,采样方法与可选性试验煤样相同。一般煤样质量为20~60t,粒度为25~75mm。

**燃烧试验样** 用于鉴定石煤、炭质泥岩等低热值燃料的可燃性。采样方法与煤层煤样相同,送验质量一般不少于100kg。煤样不破碎,不缩分,以便作块煤和粉末煤两种燃烧试验。

**低温干馏半工业性试验样** 采样方法与煤层煤样相同,煤样分层根据含油率变化而确定。一般要求粒度6~25mm,质量不小于100kg。

**煤砖(成型)试验样** 煤样质量一般不少于40kg。

**可选性试验煤样** 包括筛分、浮沉煤样和简选煤样。

**筛分、浮沉煤样** 煤样在生产矿井或勘探坑道中采取。筛分试验包括粒度大于0.5mm级大筛分试验和粒度小于0.5mm级小筛分试验,浮沉试验包括粒度大于0.5mm级大浮沉试验和粒度小于0.5mm级小浮沉试验。

**简选煤样** 又称简易可选性煤样,从钻孔中采取

时,煤样质量要求不小于5kg,最好在13kg以上;在坑道中取样时,要求煤样质量在30kg以上,粒度应小于13mm;粒度划分为13~6mm,6~3mm,3~0.5mm和小于0.5mm等四级。简选煤样需同时做各粒度级的煤岩鉴定。

**风、氧化带煤样** 风化带是指露头附近煤层因受风化作用影响,使煤的宏观物理性质和化学性质发生变化并与正常煤有显著差别的地段。风化带可根据煤的宏观物理性质确定,一般不需专门采样。氧化带是指风化带以下,煤的化学性质和工艺性能与正常煤有差别,但宏观物理性质无显著差别的地段。氧化带与正常煤带之间还有一个过渡带,其煤质与正常煤有轻微的差别,但不影响炼焦等工业利用。计算储量可以过渡带上界为准,采样则以过渡带下界为准。氧化带煤样可利用浅部钻孔的煤心煤样,也可在坑道中采取。系统采取氧化带煤样时,在过渡带附近应缩小采样点间距(见煤风化作用)。

**腐植酸煤样** 用于研究泥煤、褐煤和其它煤种的风化煤中腐植酸含量的煤样。取样方法与煤层煤样、煤心煤样相同,从露头和坑道中取样时,煤样质量为1~3kg。

**孢粉样** 确定地层时代的孢粉煤样,可利用煤层煤样、煤心煤样,或在煤层露头处(深1m以下)采取。岩石孢粉样一般应在泥岩、粉砂岩类岩石中垂直层理采取块段样。采取孢粉样时要注意上下顺序,严密包装,防止不同层位煤末、岩粉和现代花粉的混入。

**视密度煤样** 曾称容重煤样,小粒度法(比重瓶法)视密度煤样从煤层煤样或煤心煤样中缩取6~8mm煤粒200g,将其分作两份,一份测定视密度,另一份测定水分、灰分、全硫、硫化物硫等项目。井下视密度煤样从煤层顶板至底板刻取1m<sup>3</sup>左右体积的煤,在空气干燥状态下称量,同一地点两视密度煤样的视密度值的差值不得大于0.05。

**瓦斯煤样** 分为瓦斯成分煤样和瓦斯含量煤样。

**瓦斯成分煤样** 从钻孔中采样时,应用煤心采取器采取煤心;从坑道中采样时,在刚爆破后的新鲜工作面采取。煤样要尽快装入真空罐,并密封好。采样前,对真空罐要进行气密性检查,罐内要擦洗干净。采样时采取柱状或较大块的煤心,其长度应与真空罐长度相适应;采取粉状煤心时应尽量装满塞紧。煤样装入罐内后应充满开水(粉煤不充水),然后在煤的顶部放一块脱脂棉,防止排气孔堵塞,最后将真空罐压盖拧紧。拧紧盖时不得将罐倒置,以防罐内水流出。密封后,将真空罐浸入水中,再进行气密性检查。一般在两分钟后无漏气现象,即可填写瓦斯采样说明书,并尽快送化验



室进行脱气分析。气密性不好时,不准送验。

瓦斯含量煤样 (见煤层瓦斯含量采样)。

煤层顶、底板物理力学性质试验样 为测定煤层顶、底板岩石物理力学性质而采取的样品。其目的是推断在开采过程中顶、底板岩石的稳固程度,为采煤方法和巷道支护提供资料。如勘探区内或附近有生产矿井时,可直接进行井下观察和研究,了解其岩石组成成分、含水性、坚固性及稳定程度。如无生产矿井,则需采取一定数量的试样,包括物理性质试样和机械性质试样。

物理性质试样 主要包括渗透性试验,单位体重、孔隙度及吸水率试验,其目的为提供水文资料和矿山设计、开采使用。

力学性质试验样 一般是在煤层上、下各5m范围内的岩石中按不同岩性分别采取不同规格的试样,主要作抗压强度及普氏硬度系数测定、抗拉强度试验、抗剪强度试验和韧性试验等。

稀散及放射性元素试验样 在煤田地质勘探过程中,对具有工业价值的、与煤系煤层共生或伴生的、或存在于煤系上覆或下伏地层中的稀有分散元素和放射性元素,要进行采样和分析测试工作,初步评价这些元素的种类、富集层位、品位、矿石类型、远景储量,以及在煤燃烧与技术加工过程中的综合回收情况。做好对稀散及放射性元素的顺便普查、光谱分析和化学分析工作。

(许友志)

meiceng chen ji huanjing

**煤层沉积环境** (coal depositional environment) 成煤沼泽即古代泥炭沼泽的沉积环境。它可通过煤相分析来恢复。煤体形态、延伸方向、煤的成因类型和煤岩类型以及灰分、硫分的变化等,主要取决于沼泽的范围、覆水深度、与周围水系的连通情况和介质酸度、氧化还原电位等。用比较沉积学的思路和方法,通过对现代泥炭沼泽的实际调查,来模拟古代煤层沉积环境,是研究煤体形态和煤相、预测煤质空间变化的途径。J. R. 斯托布 (J. R. Staub)、J. S. 埃斯特丽 (J. S. Esterle) 和 A. D. 柯汉 (A. D. Cohen) 等,在研究不同类型现代泥炭沼泽的分布范围、水源补给、植物群落、介质酸度、还原条件和泥炭特征、形成年代、厚度变化的基础上,模拟了美国阿巴拉契亚煤田石炭纪宾夕法尼亚系某些煤层的沉积环境,发现该煤田煤层垂向煤岩类型的变化,反映了一个泥炭沼泽形成演化的全过程。同一煤层内煤岩组分和灰分、硫含量的变化,不亚于不同煤层之间的变化。某煤层的分布范

围代表成煤沼泽的大致范围。煤体形态呈透镜体状,煤层中央厚,向周缘变薄,由于覆水加深,出现暗淡煤和烛煤。煤体表层5~10cm内,煤的灰分增高到15%,而煤体中部光亮煤的灰分仅2%~5%。这是由于该沼泽在泥炭堆积后期被含氧的水所淹没,表层的泥炭被氧化分解,孢粉体相对集中所致。原煤灰分和有机质中的惰性组分,均有随煤层厚度变薄而增加的趋势。其煤层沉积环境,与现代马来西亚东部沙撈越 (Sarawak) 海岸地区的高位沼泽 (raised bog) 相似。

**高位沼泽泥炭堆积环境** 沼泽表面高于地下水潜水面,其泥炭层的厚度及灰分的分布很有规律。沙撈越高位沼泽地处现代赤道炎热潮湿气候带,雨量丰沛,以棕榈树为主的植物群落的遗体倾倒堆积,形成凸于海平面以上的高位沼泽 (图1)。泥炭层的厚度在沼泽中部达30m,沼泽中水介质酸度大, pH 值为4。泥炭的灰分向沼泽边缘增高。惰性组分也有相似的变化规律。表明自沼泽中心向沼泽边缘深覆水区,泥炭层厚度逐渐变薄,泥炭的灰分增加,出现粘土夹层。沼泽边缘有时有活动的三角洲分流河道通过,由于高位沼泽水主要由大气降水补给,沼泽水面高于海平面和河流水面,因而碎屑物不易被带入沼泽,泥炭的灰分仅为0.5%~6.5%,硫分也较低。砂质沉积物仅充填于水道内,剖面上形成叠置砂体,横向与越岸细碎屑物和低灰泥炭相过渡。

**低位沼泽泥炭堆积环境** 沼泽表面低于地下水潜水面,沼泽水由地下水补给为主,沉积环境比较复杂。美国佐治亚州东南大西洋海岸平原上的奥基凡诺基沼泽 (Okefenokee swamp) 即为低位沼泽。该沼泽位于更新世古障壁砂脊之西侧,东距大西洋现代海岸约100km。沼泽南北长约140km,东西宽90余公里,堆积的泥炭层厚达5.9m (据Cohen),一般厚2~4m (据Staub),底部最老的泥炭年龄距今约7000年。沼泽分布区海拔28m,以乔木植物为主,包括柏树 (*Cypress*, *Taxodium distichum*)、月桂树 (*Persea borbonia* 等)、桉树 (*Nyssa* ssp.) 等。树木高大 (30~40m),具板状根;灌木十分发育;草沼以漂浮的水生植物为主,包括睡莲、苔草、泥炭藓、食昆虫草等。沼泽覆水程度西浅东深,乔木类多分布在西侧,深水部位还有鱼类 (Bleegill fish)。沼泽地形十分平坦,介质的酸度大, (pH 值) 为4~7。

奥基凡诺基沼泽的底部普遍分布着一层富含惰性组和海绵骨针的泥炭层,说明早期富氧水对泥炭有所分解破坏,向上为均质的睡莲泥炭、落羽杉泥炭。前者植物组织保存较好,后者分解程度高,富惰质组。这类沼泽中,泥炭的灰分和硫分变化均无一定规律。沼泽内

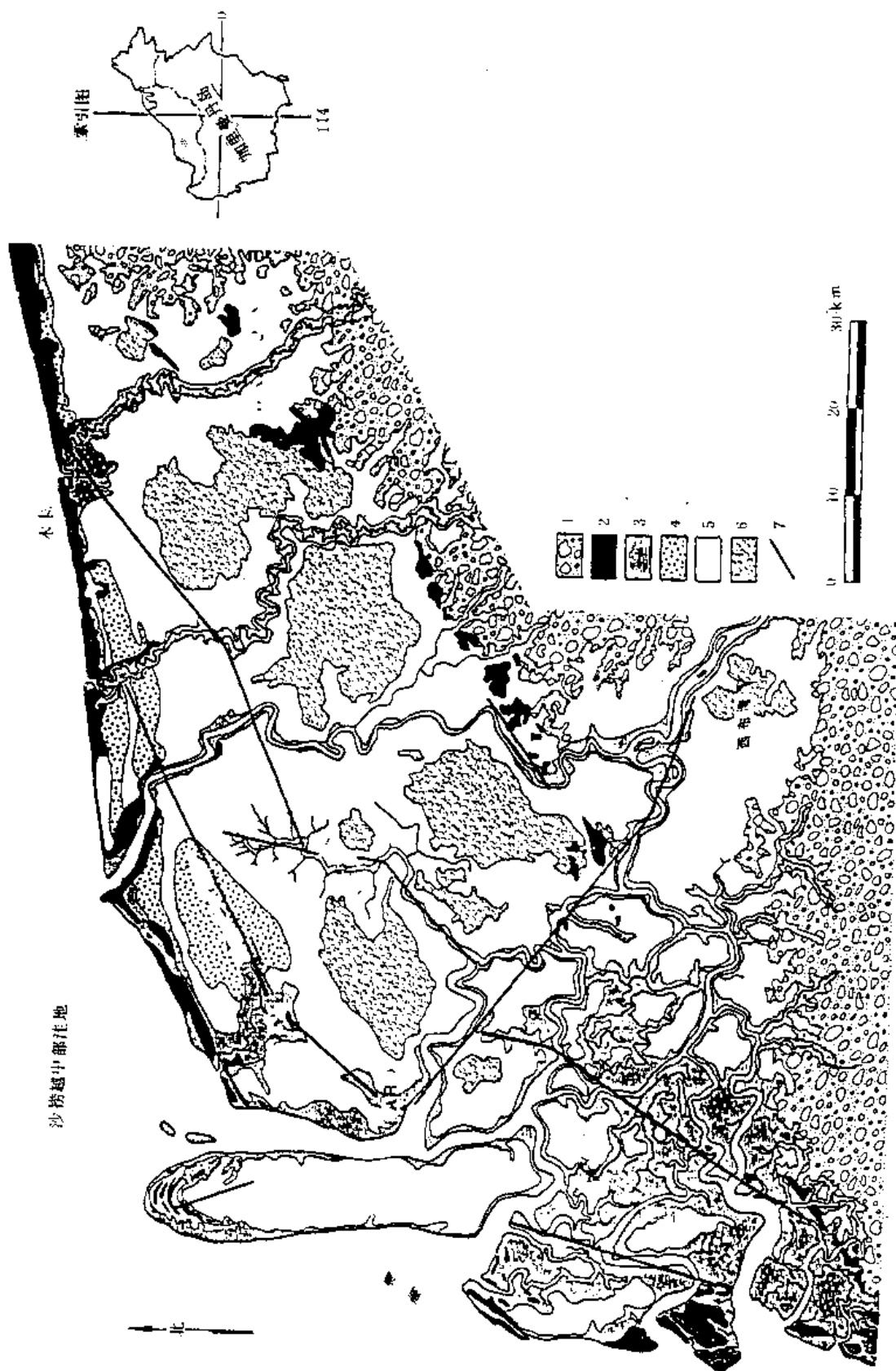


图1 马来西亚东部加里曼丹岛沙撈越洼地拉让河三角洲平原上高位沼泽泥炭的分布  
1—高位；2—近代/亚近代海相砂；3—粘土坪；4—泥炭层或部的海相砂；5—泥炭；6—主要隆丘区；7—推测生长繁层

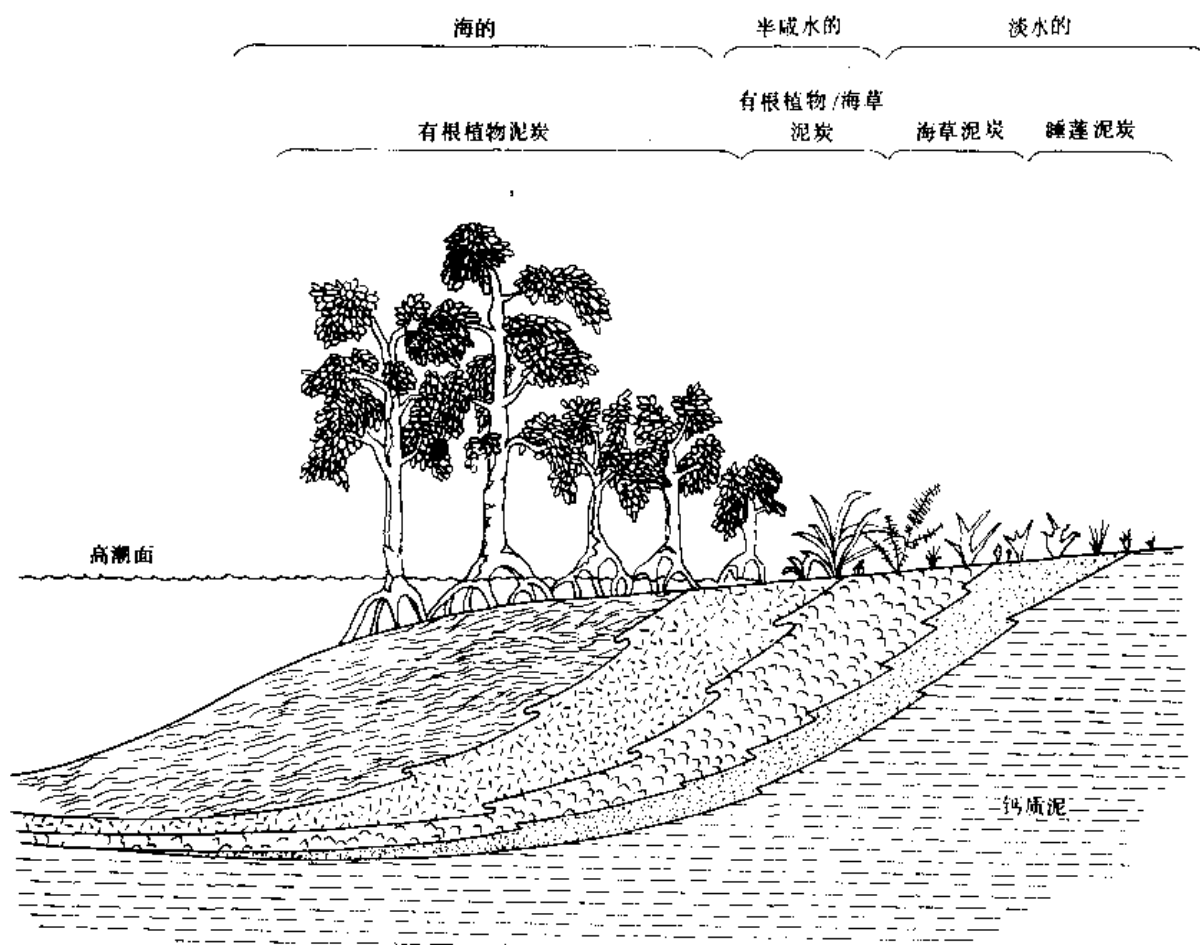


图2 美国佛罗里达州埃佛格拉德斯沼泽海侵作用结果形成的泥炭层的横断面  
(据 Spackman 等, 1976)

有小的溪流, 基本不携带泥砂, 水流速度慢, 仅为 2km/h。1960 年, 该沼泽失火后局部下陷成小湖, 其内泥炭基本未保存。

美国南部的狄斯莫沼泽 (Dismal swamp), 与奥基凡诺基沼泽相似, 均发育在砂质沉积物之上, 而美国佛罗里达州的埃佛格拉德斯沼泽 (Everglades), 则发育在碳酸盐沉积物之上 (图 2), 均属低位沼泽。

美国东部南卡罗来纳州的斯纳格迪 (Snuggedy) 沼泽, 形成于距现代障壁岛有一定距离的河口湾内, 潮道虽带入半咸水, 但以乔木类 (Cypress) 为主的森林沼泽高于潮道的水面, 泥炭堆积情况介于高位沼泽和低位沼泽之间, 可以认为是中位沼泽的典型实例。其泥炭的灰分和有机质中的惰性组分, 均有随煤层厚度变薄而增加的变化规律。

沼泽的深水部位, 往往还能形成一种漂浮沼泽 (floating battery), 是深水部位已埋藏泥炭分解出的甲

烷气体向泥炭表层集聚, 并将表层泥炭逐渐顶起, 终至脱离已形成的泥炭层而漂浮移动。漂浮泥炭难形成有工业价值的煤层, 不能与低位沼泽和高位沼泽相提并论, 只是沼泽中的一种特殊情况。

**泥炭沼泽环境演化的控制因素** 煤层与下伏沉积物之间可以是连续沉积的, 也可以存在间断。下伏沉积物, 为泥炭沼泽的形成提供了底盘格架。古地形对泥炭层的形态和厚度的原生变化甚至初始煤相也都会有一定的影响。

沼泽中泥炭堆积的厚度, 受控于构造沉降、水位和植物残体供给速度。①当植物堆积速度与沼泽底盘沉降速度或水位上升速度能长期保持一致时, 泥炭层便不断增厚。②当水位下降时, 已沉积的泥炭会发生降解, 受到破坏, 甚至无法保存。③如果水位上升速度超过了植物堆积速度, 沼泽即被淹没, 泥炭堆积作用也就停止。地史上得以保存下来的煤层, 大都是成煤沼泽因

水位上升或构造沉降被水淹没的结果。常见的煤层顶板往往是含动物化石的海相灰岩、泥质岩或含植物化石的湖相泥岩等。

沼泽类型在空间上是逐渐过渡的,随沼泽覆水程度不同而变化。沼泽覆水程度又受气候、海平面变化和海水进退的控制。泥炭类型的垂向变化反映了沼泽类型的演化。

(李宝芳)

meiceng diban denggaoxian tu

**煤层底板等高线图** (coal-seam floor contour map) 又称煤层构造图,表示煤层下层面标高的等值线图,煤层底板等高线在水平面上的垂直投影(下图)。

**主要用途** 煤层底板等高线图是煤田地质勘探、矿井设计、建设和煤矿生产各个阶段最基本、最重要的施工图纸。

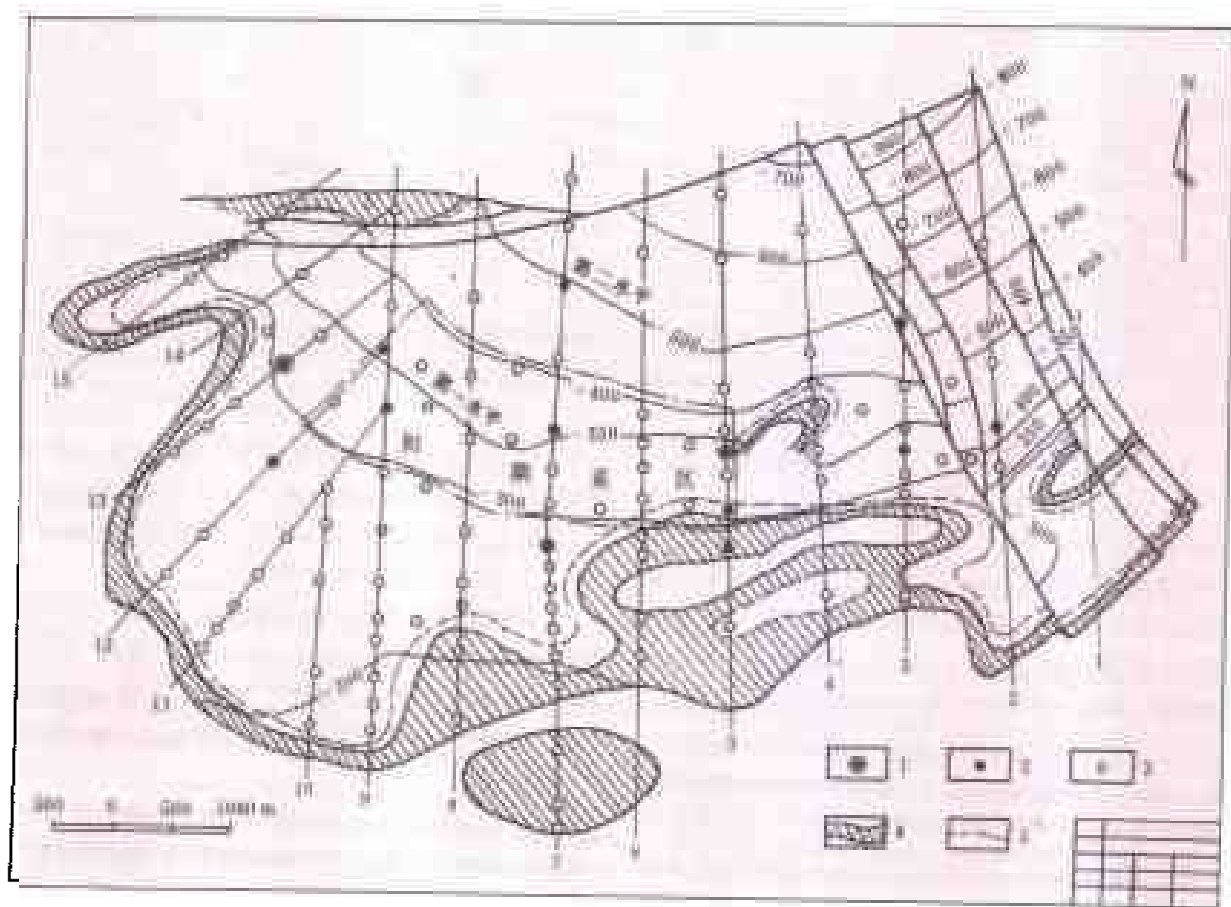
(1)煤田地质勘探阶段,煤层底板等高线图主要用来表示勘探区的地质构造形态、断裂发育情况、煤层赋存的空间位态及其变化规律。它是编制勘探设计、布置勘探工程、进行储量计算和提交地质报告的重要依据。

(2)矿井设计建设阶段,煤层底板等高线图是矿井设计和建设的重要依据。在矿区总体设计阶段,它可用来划分井田,选择井筒位置,确定开拓方式,对矿区运输、供电、供水以及地面工业与民用建筑进行合理的选择与布置;在矿井设计阶段,它可作为选定井筒及工业广场位置,确定第一水平主要运输大巷和采区布置的依据。

(3)煤矿生产阶段,煤层底板等高线图是布置开拓工程和回采工作面,布置通风、运输、排水系统以及编制采掘工程平面图的主要依据。

#### 主要内容

(1)图面设计。上有图头、比例尺,下有图例、责任图签。图上有方格网和指北线。图的比例尺与地形地



中国某矿井3号煤层底板等高线图

1—普查钻孔; 2—详查钻孔; 3—精查钻孔; 4—煤层风化带; 5—煤层氧化带下边界

质图相同。

(2) 重要地形、地物。包括地面河流, 地表水体(湖泊、水库), 铁路、公路及重要地面建筑物、构筑物等。

(3) 穿过该煤层的全部勘探工程、小窑和生产矿井主要巷道等。

(4) 各种边界线。井田边界线, 煤层露头线, 煤层风、氧化带边界线、采空区边界线以及煤层冲刷边界线、岩溶陷落柱边界线等。

(5) 勘探线及其编号, 煤层底板等高线, 上、下盘断煤交面线等。

**编制方法** 在煤田地质勘探阶段, 煤层底板等高线图的编制方法有插绘法和剖面法两种。①插绘法, 原理与绘制地形等高线图相似, 采用线性等距内插法。它主要用于找煤和普查阶段初期, 勘探工程稀疏, 或地层产状平缓、波状起伏构造线方向不明显的地区; 在详、精查勘探阶段, 有时在局部地段或内插某些边界线时, 也作为一种辅助方法使用。②剖面法, 从各勘探线剖面上直接量取煤层底板各等值标高点位置, 是编制煤层底板等高线图最常用的方法。其特点是精度高, 能真实地反映勘探区的构造形态。

**剖面法的编图步骤:**

(1) 选择基线, 基线即指北线, 确定其方向的原则是使图幅合适, 图面匀称, 便于阅读, 节约图纸, 一般力求使煤层露头线走向尽量与图纸横向相平行。

(2) 绘制坐标方格网, 坐标方格网精度要求很高, 纵坐标与横坐标必须严格垂直, 其纵坐标(经线)必须与基线方向一致。具体绘制方法采用大方格网控制小方格网的方法, 以消除累积误差。大比例尺图纸方格网规格为  $10 \times 10 \text{ cm}^2$ 。

(3) 投绘勘探工程, 把勘探线位置和穿过该煤层的全部勘探工程(包括钻孔、探槽、探井、探硐)、生产井口、小窑坑口等, 按经、纬线坐标(X、Y)逐一投绘到平面图上, 并注明工程编号及其所见煤层底板标高。斜孔必须经过孔斜校正后再投绘见煤点位置。

(4) 根据勘探区地形地质图和勘探线剖面图, 将煤层露头线、井田边界线, 以及对矿井开采有影响的地面建筑、铁路、公路、河流、湖泊、水库等重要地物, 逐一投绘到平面图上。

(5) 卡点投图。将勘探线剖面图上煤层底板与水平标高线的交点, 以投

影基线为基准, 用比例尺移植到平面图上, 并注明相应标高的数字。遇断层时, 应注明断层编号, 上、下盘符号及相应的标高; 遇褶曲时, 应注明向斜和背斜符号及相应的标高。

(6) 分析地质规律。根据地形地质图和勘探线剖面图, 分析勘探区总的构造特征和构造轮廓, 对构造形式及其展布规律、褶皱的形态、断裂的性质及其相互关系进行详细的研究和分析。在掌握勘探区地质规律的基础上, 进一步研究地面地质能观察到的次一级地质构造, 以便更加准确地连结煤层底板等高线。

(7) 勾绘等高线。在连结煤层底板等高线时, 一般首先勾绘断煤交面线, 背斜或向斜轴线等构造控制线, 然后再勾绘控制点较多的某一条底板等高线, 最后用光滑曲线连结各同名标高点, 即完成煤层底板等高线图。

(许友志)

meiceng duibi

**煤层对比** (coal-seam correlation) 根据煤层本身的特征和含煤岩系中各种对比标志, 找出各见煤点间煤层层位对应关系的工作。煤层对比是煤田地质勘探和煤矿生产过程中一项极为重要的基础工作。煤层对比是将天然露头、坑探工程、物探、钻探及生产巷道所揭露的煤层, 根据直接的和间接的对比标志, 把相同的煤层按其自然状态连接起来, 用以查明煤层在煤系剖面中层位、层数、赋存情况及其空间变化规律。

**意义** 煤层对比是煤田地质勘探的主要任务之一。特别是在地质构造复杂、煤层不稳定, 或煤层层数

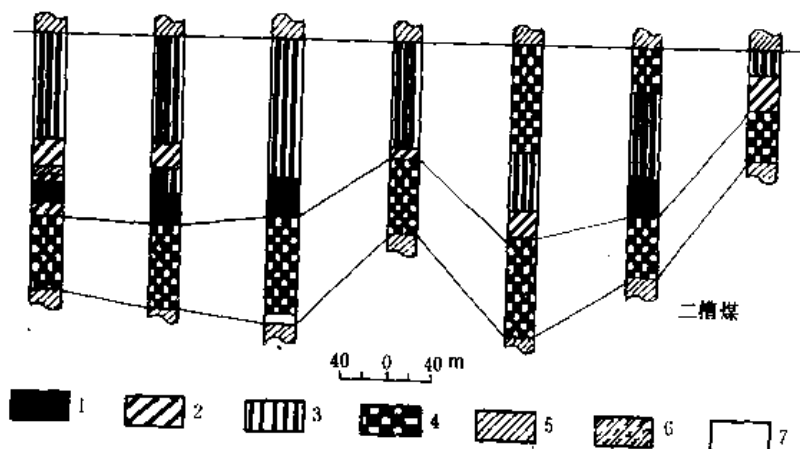


图1 华北某矿二槽煤煤岩类型对比图

1—光亮型煤; 2—半亮型煤; 3—半暗型煤; 4—暗淡型煤; 5—粉砂岩; 6—泥质岩; 7—泥质夹砂



多、层间距小、对比标志不明显的地区,解决好煤层对比问题是煤田地质勘探工作的关键。煤层对比正确与否直接关系到煤层层数、层位的正确确定,并涉及地质构造的正确判断和储量计算的可靠程度。实践证明,由于煤层对比不正确而造成的储量计算误差,较之储量计算方法和技术方面导致的误差要大得多。煤层层位搞不清,煤质资料也难以利用,甚至会作出错误评价。只有在煤层对比落实的基础上,才能编制出正确反映勘探区地质规律的各种综合性图件,提出合乎煤矿生产建设需要的地质报告。

**要求** 煤田地质勘探各阶段对煤层对比有不同的要求。①普查阶段要求初步确定煤系剖面中主要可采煤层的层数、层位、厚度及其变化的大致规律,对主要可采煤层作出初步对比。②详查阶段要求基本确定煤系剖面中煤层层位、层数、厚度、结构及其变化规律,对主要煤层的对比要基本清楚。③精查阶段要求确定煤系剖面中煤层层位、层数、厚度、结构及其变化规律,对主要可采煤层必须对比清楚,对可采的复煤层要作出分层对比。

**方法** 目前常用的煤层对比方法有:标志层对比法、煤层特征对比法、古生物对比法、岩矿特征对比法、岩相-旋回对比法、地球物理测井对比法和地球化学特征对比法等。

**标志层对比法** 一种最常用、最有效的煤层对比方法。标志层系指含煤岩系中层位稳定、标志明显的岩层或矿层,包括近海型煤系中的石灰岩、铝质岩、铁质岩和粘土岩;内陆型煤系中的砾岩层、砂岩层以及煤系中的油页岩、凝灰岩、菱铁矿层和其它一些具有特殊结构、构造的岩层。在近海型煤系中,各主要煤层间距离往往比较稳定,层间距法也是一种常用的方法。

**煤层特征对比法** 根据煤层本身特征的一种煤层对比方法。它根据煤层厚度、结构、煤岩、煤质特征及其变化规律和固有的组合关系,进行煤层对比。此法的优点在于它能直接地对比和确定煤层层位。

**煤层厚度对比法** 厚度稳定的煤层,本身就是良好的标志层。如中国华北山西组下部含有一层厚度大而稳定的主要煤层,俗称“大煤”、“头煤”、“丈八煤”等,它分布广泛,层位稳定,本身就是一个很好的标志层。

**煤层结构对比法** 根据煤层结构的复杂程度,夹石的层数、厚度及其分布层位,夹石的岩性特征、成层情况及组合特征等,进行煤层对比。

**煤层特性对比法** 根据煤的特殊物理性质对比煤层。煤层质地松软,呈鳞片状,俗名“大糠煤”;煤质坚硬,俗名“铁煤”;含黄铁矿细晶,俗名“星子煤”;

含硫高,俗名“臭煤”等,都可作为煤层对比标志。

**煤岩特征对比法** 根据煤层的煤岩组成和煤显微组分的特征、含量及其变化规律进行煤层对比(图1),此法简便、可靠,因而是最常用的煤层对比方法之一。

**煤质资料对比法** 为研究和评价煤炭的质量,要做大量的工业分析、元素分析以及各种测试工作,从所获得的大量分析、化验数据中选出某些具有特征的煤质指标(硫分、灰分、灰成分、微量元素等),作为煤层对比的标志(图2)。

**古生物对比法** 煤层对比的基本方法之一,目前常用的有动、植物化石对比法和微体古生物对比法两种。

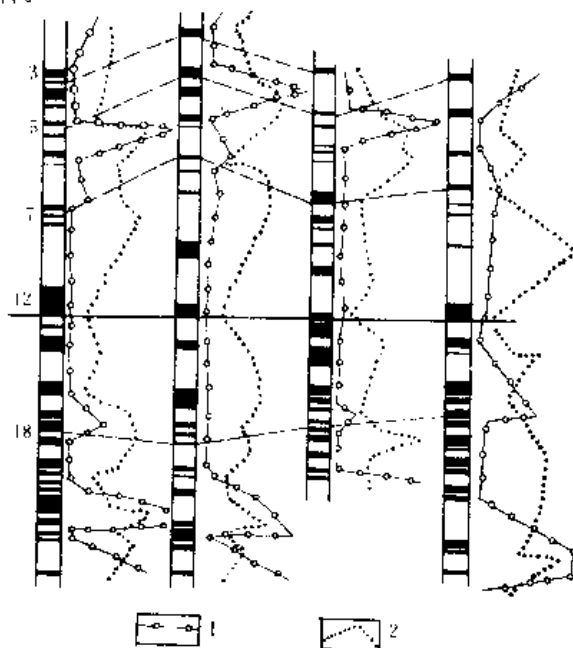


图2 黔西某井田煤层煤质对比图

1—全硫含量; 2—灰分

(据煤炭科学研究所西安研究所)

**动植物化石对比法** 利用煤系中丰富动、植物化石的种属、数量、生态、组合关系、保存完整程度、矿化特征以及生物活动遗迹等方面的特征,进行煤层对比的方法。利用此法时,要注意古生物化石的共生组合特征,同期异相的化石层对比,要密切结合岩相-旋回研究进行综合对比。

**微体古生物对比法** 根据含煤岩系中含有的微体古动物(有孔虫、介形虫、苔鲜虫等)和微体古植物(孢子、花粉)化石,进行煤层对比的方法。孢子、花粉在不同地质时代含煤岩系中都有广泛分布,其特点是个体小、数量多、容易保存,且在垂直方向上变化大。此法对中、新生代陆相地层的划分和内陆型含煤岩系的煤层对比,效果较好。孢粉对比法一般采取煤层分



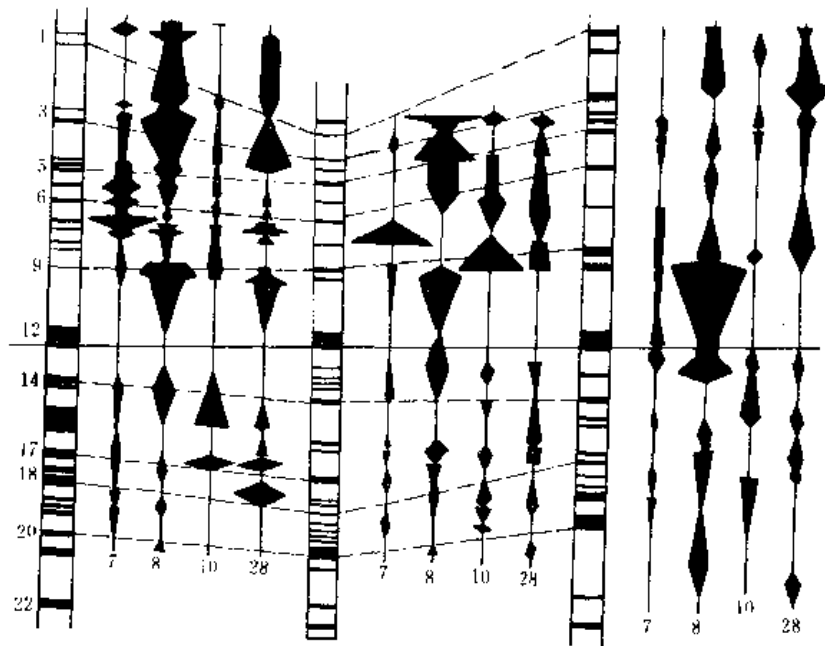


图3 黔西盐县矿区煤层孢粉带对比图

7—刺面三缝孢；8—皱面三缝孢；10—厚角三缝孢；28—刺面单缝孢  
(据煤炭科学研究院西安研究所)

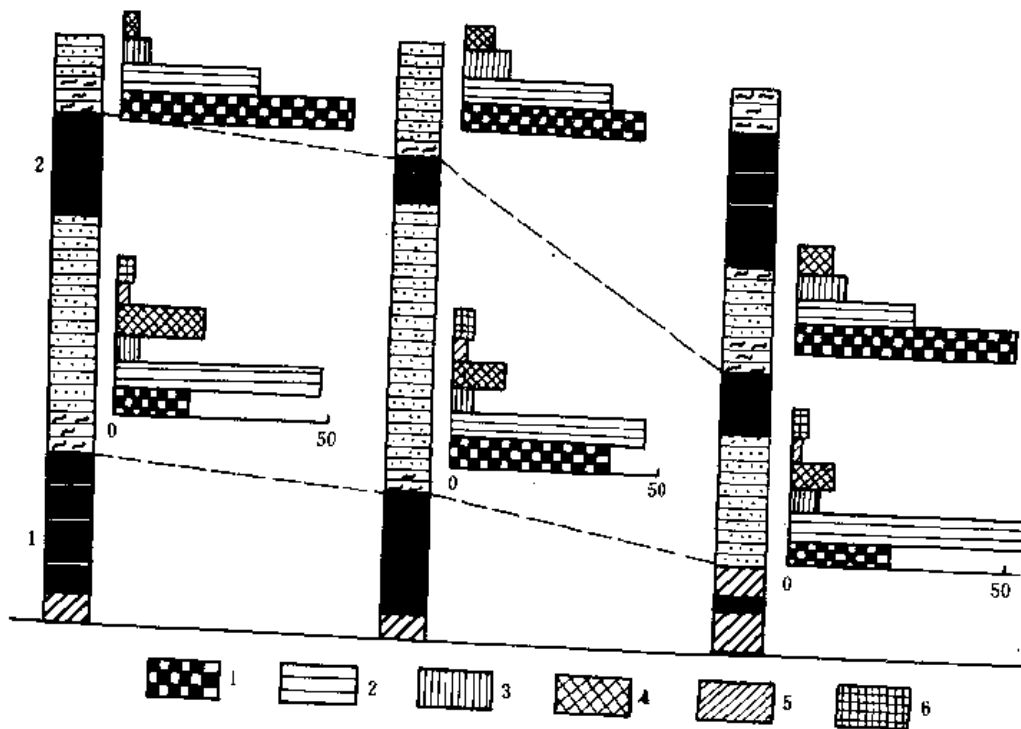


图4 豫西某矿区中生代含煤岩系底煤自重矿物柱状对比图

1—石榴子石；2—电气石；3—金红石；4—锆英石；5—绿帘石；6—刚玉

层和顶底板样,通过室内浸解、制片、鉴定及统计,求出每个样品中孢粉类型或属、种的百分含量,编绘出梯带对比图(图3)。对比时,先建立标准剖面及其在垂直方向上变化特点,孢粉标准类型、孢粉的组合特征以及具有特殊孢粉成分的固定层位。

**岩矿特征对比法** 通过对含煤岩系中某些岩石的薄片鉴定、重矿物分析及简易试验,寻找出岩石、矿物的显微标志,用以进行煤层对比的一种方法(图4)。煤系中有些岩石肉眼不易辨认,还可采集岩样,进行简易的物理化学处理,然后根据处理结果,用来对比煤层。岩矿简易分析常用的方法有:泥质岩、粘土岩的染色分析;石灰岩的不溶残渣分析;各种岩石的煅烧法等。

**岩相-旋回对比法** 利用含煤岩系的旋回结构或粒度韵律结构进行煤层对比的方法。在利用标志层法对比煤层时,常常会遇到岩性、岩相沿水平方向发生较大的变化,如海相的石灰岩可能变为陆湖相的泥质岩、粉砂岩,需要进一步研究含煤岩系的形成环境、控制因素及其在时间上和空间上的分布规律,寻找出上述比岩性、岩相更加稳定的对比标志。

**煤田测井对比法** 根据含煤岩系中,各种不同岩石和煤层的物性(电阻率、密度、自然放射性等)差别较大,不同地球物理测井方法所获得的曲线的性质、类型、幅度、形态特征及其组合规律的不同,进行煤层对比的方法。

**地球化学特征对比法** 根据含煤岩系是在一定的地球化学条件下形成,煤系剖面中各类岩石和煤层在一定程度上反映了沉积当时煤盆地的地球化学条件,即反映了煤盆地水介质的性质、氧化还原程度、有机质含量的变化等,据这些特征进行煤层对比的方法。目前常用的方法有结核对比法和微量元素对比法。

**结核对比法** 根据结核的物质成分、结构、构造、表面特征、大小、形状、产状及其与围岩的分离程度等进行煤层对比。

**微量元素对比法** 根据含煤岩系和煤层中已发现的几十种微量元素的成分、含量、共生组合特征及其在固定层位富集的规律,进行煤层对比的方法。

(许友志)

meiceng houdu bianhua

**煤层厚度变化** (change of coal-seam thickness)

煤层厚度和结构的变化,影响煤层储量、开采条件、矿井生产能力和服务年限,是地质勘探和矿井地质调查的主要地质内容。煤层厚度变化普遍,变化类型多样,其复杂程度随煤系沉积体系,煤层在剖面中的位置和后期构造运动性质、强烈程度而异。

20世纪50年代,苏联把煤厚变化分为原生变化和后生变化两类。凡煤层顶板沉积前发生的煤层厚度变化,称原生变化;煤层顶板沉积后发生的煤层厚度变化,称后生变化。原生变化包括,①沼泽基底不平引起的煤厚变化;②沼泽横向相变引起的变薄尖灭;③煤层的各式分岔。后生变化包括,①河流对煤层冲蚀;②构造挤压使煤层厚度发生的变化。

**沼泽基底不平** 在井下的揭露特征为煤层顶板平直,底板呈现起伏,底板上隆的地段煤层厚度变薄,底板下凹的地段煤层厚度加大;煤层在堆积时,显示由低处向高处超覆现象,煤层层理与起伏的底板斜交。陕西铜川史家河矿10号煤层,四川南桐红岩煤矿6号煤层,煤层厚度的变化还伴有压缩性正断层(图1)。这种断层,在红岩煤矿显示呈环状。这类煤层厚度变化分布的环境有,①在不整合或假整合面上形成的底部煤层,不整合或假整合面的地形起伏,使早期成煤沼泽地形复杂化,沼泽内部高低不一,低处先沼泽化,先堆积泥炭,高处后沼泽化,后堆积泥炭,泥炭层的厚薄决定了今天的煤层厚薄;②在冲积扇前缘沼泽化地带形成的煤层。以中国辽宁阜新新邱五坑下层群煤层比较典

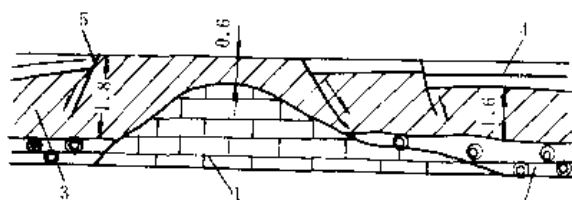


图1 陕西铜川史家河矿10号煤层  
厚度变化示意图

1—奥陶纪石灰岩; 2—页岩; 3—10号煤层;  
4—页岩; 5—压缩性正断层

(据乌智信)

型(图2)。这类煤层厚度变化规模较小,多数由巷道揭露发现,其煤层不可采边界一般用巷道圈定。

**煤层分岔和尖灭** 煤层沿某一方向厚度变薄,层数增多,夹石层加厚和煤层逐步变薄直至消失的现象。不同沉积体系、不同环境下形成的泥炭沼泽,都有它变薄、尖灭的相带。①陆相滨湖沼泽或湖泊三角洲地带,煤层向岸和向湖中央变薄、尖灭。②滨海沼泽情况类似。这种变化是渐变的,变化范围视沉积盆地大小而异,在井田范围内不稳定的局部可采煤层的变薄、尖灭,最为典型。

煤层分岔、尖灭是沉积环境和地壳运动配合的一种特殊形态。中国煤田内已见到多种煤层分岔方式。①分岔后的煤层在井田内稳定。在勘探阶段已经查明它

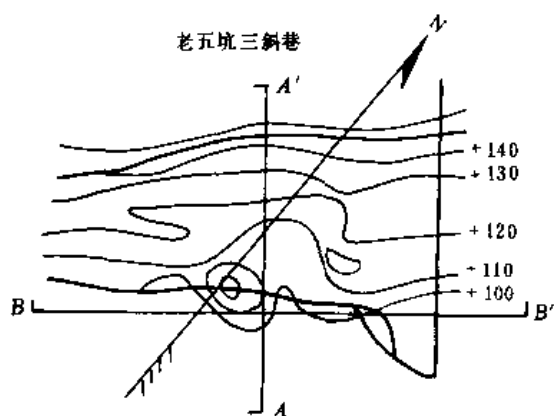


图2 辽宁阜新新邱五坑下层群煤层底板不平引起的煤层厚度变化示意图  
(据煤炭科学研究总院唐山分院)

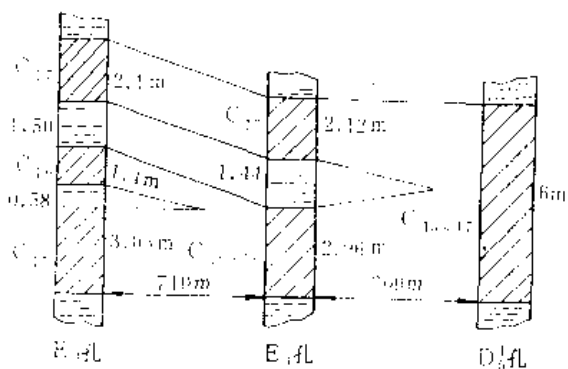


图 3 中国河南平顶山一矿戊组煤 (C 组) 分岔图

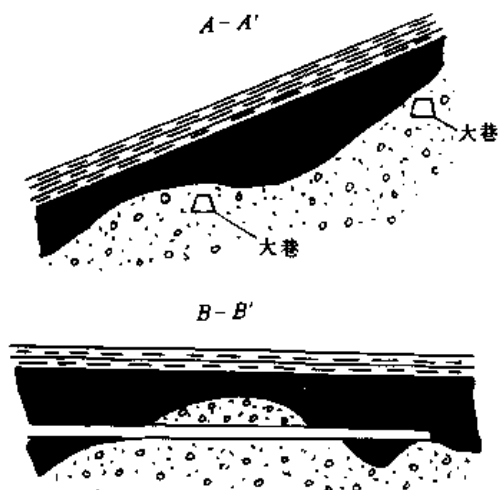


图 5 中国辽宁阜新海州露天矿 WEO 剖面(局部)



图6 中国河北兴隆营子坑第五层煤分岔示意图  
(据陈尚平)

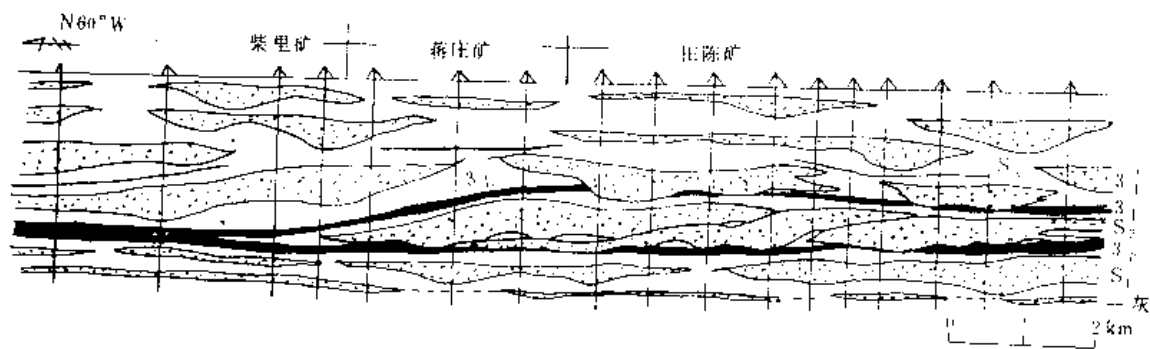


图 4 中国山东滕南矿区山西组沉积断面图  
(据任文忠、薛庆远)

的存在与分布,在矿井设计时对合层与分岔如何开采已有具体方案,只要求在巷道施工中加确分岔点的位置。它们对煤矿生产不产生突然性影响。中国平顶山一矿的戊组煤(C组)(图3)和山东滕南煤田的三上、三下煤层(图4)都很典型。②煤层分岔呈马尾状。煤层分岔在勘探阶段即已发现,但各分岔煤层的对比尚有困难,有待生产阶段利用采区石门资料或石门开掘之前的水平探煤钻孔资料进行逐层对比,编制阶段的水平切面图,确定可采煤层分布范围,才能设计开采方案。这样的煤层,出现在伸展构造带的断陷盆地内,较典型的是中国辽宁阜新煤田(图5)。③煤层沿走向多次分岔。见于中国河北兴隆煤矿营子坑的5号煤层。煤层厚2m左右。煤层顶板平整,为潟湖海湾相黑色粉砂质泥岩;底板变化大,有砾岩、细砂岩和铝质泥岩,紧贴煤层为10cm厚的泥岩。煤层沿走向每隔136~234m便有一向底板分岔煤层(图6)。5号煤层是山麓前缘滨海沉积,分岔成因尚待研究。对这种分岔煤层,掘进时容易跟错煤层,沿分岔煤层进入尖灭端,造成废巷。沿顶板掘进施工,则可避免掘错煤层。

**煤层的冲刷** 煤层形成过程中或形成后,因河流、海浪或冰川等的剥蚀而出现局部或全部被破坏的现象。其中,以河流冲刷作用为主。河流向下侵蚀,不仅

切入煤层顶板,还下切至煤层,使煤层遭受剥蚀,局部厚度变薄甚至全部被剥蚀掉(图7)。其特点是具有狭长的煤层冲刷带,宽度由数十米至数百米甚至2000m,长度则更长。被冲刷的煤层变薄,顶板变为冲积相中、粗砂岩、砂岩中有煤屑和原顶板岩石的碎块,它与煤接触处煤层变为风化软泥,有时可见压缩性假断层面。规模大的冲刷带在勘探阶段已被钻孔圈定,规模小的冲刷带在煤巷掘进中发现,随巷道的开掘逐步了解其宽度、切割煤层的深度、流向等。矿井地质工作者需要结合地质勘探资料,把巷道揭露的冲刷带边界及时投绘到矿图上,利用流向趋势,对未采区煤层可能冲刷的地段作出预测(图8)。

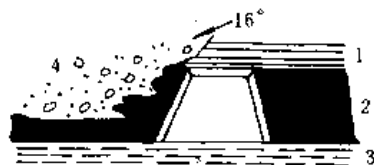


图7 中国河北唐山矿2151工作面

五煤层冲刷素描

1—泥岩; 2—煤层; 3—页岩;  
4—砂砾岩(冲刷带)

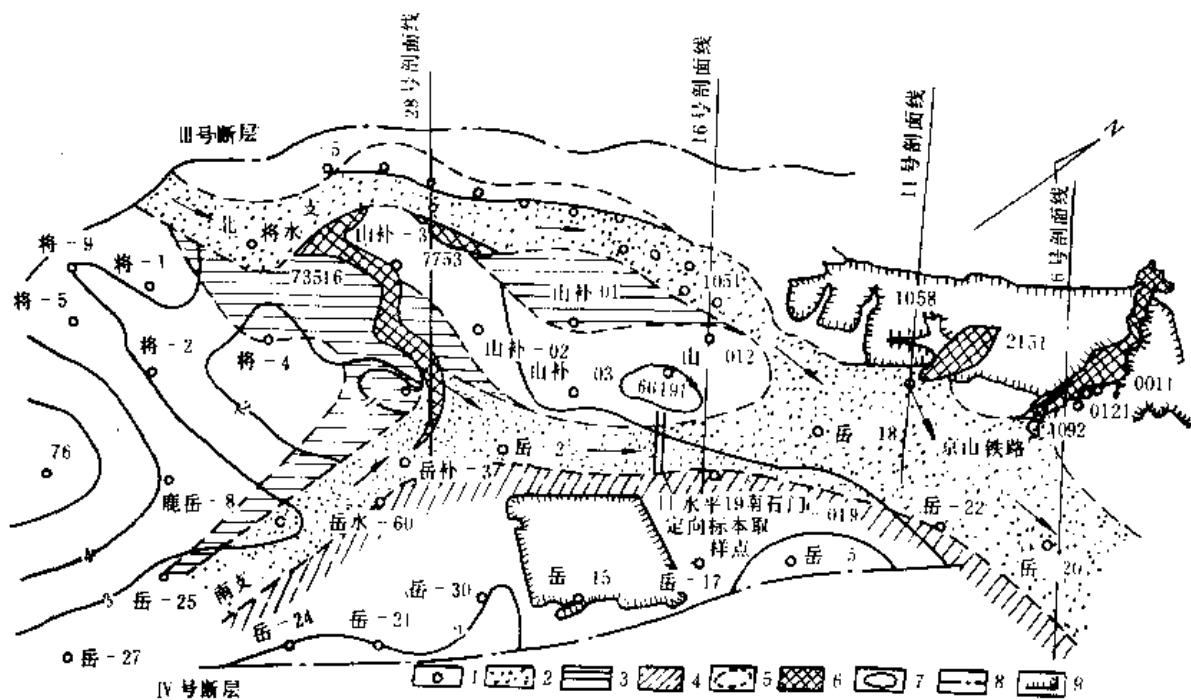


图8 中国河北唐山矿Ⅲ号断层以南五煤层顶板岩相分布图

1—钻孔位置; 2—河流砂质砾石沉积物相; 3—湖泊泥质粉砂质沉积物相; 4—湖泊砂质沉积物相;  
5—各种岩相边界线; 6—煤层不可采带; 7—煤厚等值线; 8—断层线; 9—已回采区边界线

(据开滦科技协会资料, 1964)



**后期构造挤压** 煤层比含煤岩系内其它岩石强度小，在挤压地应力作用下，在一些强烈褶皱的煤田内，煤层发生层间滑动作用或不协调褶皱，厚度因流变发生了很大变化，在褶曲的核部变厚，在褶皱翼部变薄。在多次构造运动作用下，煤层被切断、拉薄、挤厚，变成鸡窝状、瓜藤状。厚的地方为大煤包，薄的地方只剩一条煤线（图9）。在厚煤带、厚煤包内，煤层呈揉皱

的鳞片状、角砾状，常见镜面；压薄带的煤层常呈土状、粉末状。这种原始结构被破坏的煤，称构造煤。在高瓦斯矿井，厚煤包及由薄变厚地带，常是煤与瓦斯突出地带。煤内有夹石层岩石的混入，灰分增高，密度加大。这样的矿井，煤层厚度变化大，在勘探阶段即使采用250m的线距进行勘探，也只能求得B级或C级储量，适合小规模开采。地质工作依靠巷探和钻探查明煤层形态，用小阶段方式进行开采。

煤层厚度变化往往有两种以上的原因。中国北京房山煤矿的煤层，既有沉积环境变化产生的煤层厚度的变化，又有构造运动引起的煤层流变，二者的综合影响使煤层出现不同规模的薄煤带和厚煤带，使储量计算、煤层开采极为困难。对该矿深部煤层赋存状态进行预测，也需先进行单因素分析后再综合研究，方能作出接近实际情况的预测。

**参考书目**

邵震杰等，《煤田地质学》，煤炭工业出版社，1993。

龙荣生，《矿井地质学》，煤炭工业出版社，1991。

（陆国桢）

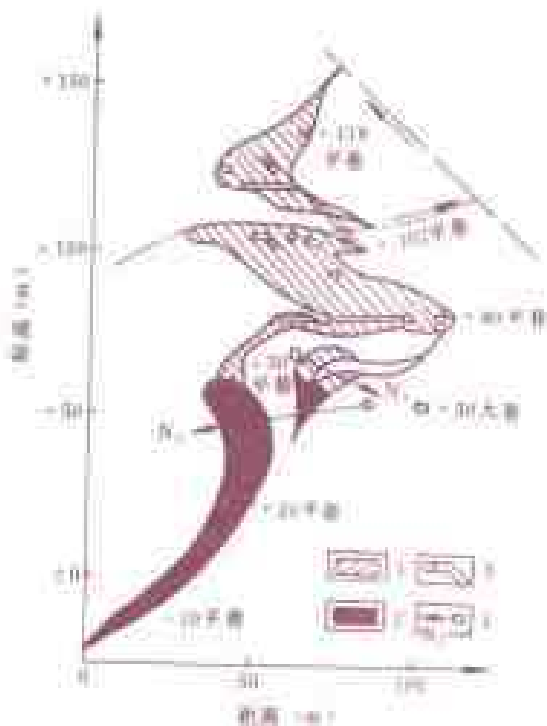


图9 中国湖南街洞煤矿边探边采瓜藤状煤层（剖面图）

1—已采部分；2—未采部分；3—巷道；4—钻孔

meicengqi

**煤层气** (coalbed gas, coalbed methane)

又称煤层甲烷、煤层瓦斯，保留在一定深度煤层内的煤成气。其组分以甲烷为主，通常占80%以上，其余为少量氮、二氧化碳和不等量的重烃（表1）。有的煤内还含氢、一氧化碳、硫化氢和微量惰性气体（见煤成气）。上述气体以吸附和游离方式存在于煤的孔隙裂隙内。其含量因地而异，在自然界最多不超过40m<sup>3</sup>/t煤。

表1 煤层气组分表

| 国别   | 采样地点                    | 煤层气组分（体积%）      |                                |                 |                | 备 注  |
|------|-------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|----------------|--|
|      |                         | CH <sub>4</sub> | C <sub>2</sub> ~C <sub>5</sub> | CO <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |  |
| 中 国  | 唐山赵各庄矿11号煤层             | 82.45           | —                              | 1.48            | 1.90           | 气 煤<br>焦 煤<br>无烟煤<br>焦 煤<br>气 煤<br>无烟煤<br>气 煤<br>气 煤 |
|      | 神东丰东矿4煤层                | 88.52           | 1.80                           | 3.3             | 1.28           |  |
|      | 刘家矿3号煤层                 | 90.04           | 2.10                           | 2.34            | 4.34           |  |
|      | 重庆天府煤矿5 <sub>1</sub> 煤层 | 80.13~84.78     | 0.5~4.71                       | 0.84~2.04       | 0.2~2.92       |  |
|      | 贵州独山矿                   | 87.65           | 0.34                           | 1.44            | 0.57           |  |
|      | 湖南冷水江资江矿                | 82.08           | 0.29                           | 1.68            | 16.84          |  |
|      | 辽宁铁法大南矿                 | 94.82           | —                              | 1.14            | 1.74           |  |
|      | 陕西宜君南坪                  | 86.11           | —                              | 4.36            | 15.48          |  |
| 美 国  | 亚利桑那州佛蒙特兰电煤田            | 88.10           | 1.78                           | 1.25            | 1.28           | 次级煤田高挥发分烟煤C<br>其气内还含氮                                |
|      | 怀俄明州阿特拉斯煤田              | 88.10~88.80     | 0.31~0.15                      | 0~2.8           | 2.47~4.20      |  |
| 乌克兰  | 顿涅茨煤田基洛夫矿田<br>莫迪尼诺夫煤田   | 85.00~94.40     | <0.88                          | 0.10~1.10       | 0.10~2.60      | —  |
| 澳大利亚 | 悉尼煤田阿平煤田                | 81~82.7         | 0.40~2.80                      | 0.10~1.00       | —              | —  |

煤层气解吸涌入矿井巷道即成为矿井瓦斯,在合适的浓度下可以使人窒息,遇明火可爆炸;煤层气在特定条件下还可引起煤和瓦斯突出,成为矿井灾害。长期以来人类把矿井瓦斯作为矿井有害气体予以排放。

中国每年在煤炭开采中逸散的瓦斯量近  $6\text{Gm}^3$ ,占世界煤层瓦斯排放量的 30% 大量排放甲烷,不仅污染空气,而且甲烷的捕热能力等于二氧化碳的 20 倍,是产生地球大气温室效应的另一重要气源。

煤层气是一种高热值气体,发热量在  $37.656\text{MJ}/\text{m}^3$  左右,而且是一种洁净能源,美国已将其作为非常规能源予以开发。中国亦已把它列为新能源。

**研究简史** 自从人类进入地下采煤不久,就察觉煤内有使人窒息的可燃气体存在。起先,用通风方式对其加以排放。当其量大时,则改用井下抽放并将抽放的瓦斯实施利用,但主要目的仍是为了矿井安全生产。20 世纪 70 年代,中东战争引发对西方工业国实施石油禁运,美国把目光转向煤层气,认识到“这种对采煤工作有危险的气体有可能成为一种潜在的资源”。美国能源部在 1977 年实施“煤层甲烷回采计划”(MRCP, Methane Recovery from Coalbed Project),专门调查美国本土煤层地内煤层甲烷的含量、分布、储量,研究开采的可行性。1970~1982 年,由 TRW 公司对美国本土 13 个煤盆地作了分析,估算了在 1800m 深度范围内的煤层甲烷资源量,确定了远景区。MRCP 的实施,引起了美国石油、天然气工业界对煤层甲烷潜力的兴趣,并在沃里尔(Warrior)、圣胡安(San Juan)和皮森斯(Piceance)盆地进行了商业性开采。它们运用采油气的压裂技术,使低透气性的煤层提高了渗透率,单井日产量由数千立方米到数万立方米不等,由于开采煤层气的气井浅,产量稳定,开采时间长,投资低,取得了良好经济效益。根据对个别地区 10 年抽放效果的检验,煤层内的甲烷含量已降低 70% 多,为今后煤层开采改善了通风条件。1989 年,圣胡安盆地产气

$2.18\text{Gm}^3$ ,沃里尔盆地产气  $0.7\text{Gm}^3$ 。美国天然气研究所 1989 年公布,美国 18 个煤盆地概算的煤层甲烷资源量为  $8387\sim 11164\text{Gm}^3$ 。美国现有 50 多个院校、公司和研究机构进行合作,实施关于煤层甲烷的各种计划,出版《美国煤层甲烷资源》专著,创办《煤层甲烷开发技术》季刊,不定期召开煤层甲烷专业会议,出版会议论文集,以推动美国国内煤层甲烷工业的发展。

中国在明朝末年以前已有用竹筒排放井下毒烟气的技术。20 世纪 90 年代,已有近百对矿井建立了井下瓦斯抽放系统,年抽放量约  $0.4\text{Gm}^3$ 。煤炭科学研究院抚顺分院在 20 世纪 70 年代初开始对山西阳泉、湖南红卫煤矿及焦作、包头和抚顺煤矿进行地面钻孔抽放煤层内瓦斯的试验,采用了包括水力压裂、水力刷大孔径等技术在内的提高煤层透气性的措施,结果除抚顺煤矿外,其余各矿都因煤层透气性低,产气量少而未能成功。80 年代,美国在地面成功开采煤层甲烷的信息传入中国,中国地质学家对此产生了兴趣,在“六五”、“七五”国家重点科技攻关项目中,一些科研院所和高等学校,对全国主要煤盆地的煤层甲烷资源量进行了概算和评价(见煤成气),总量估算为  $3\text{万 Gm}^3$ 。其中,吕梁山以东的华北石炭二叠纪煤田 2000m 深度以内为  $5000\text{Gm}^3$ 。1992 年,中国能源部在唐山矿南部设立“煤层气示范项目”,在美国“国际先进能源技术股份有限公司”(ARI)合作下,完成了两口试验井的第一阶段工作。同年,联合国环境署为减少中国煤矿向大气排放甲烷,帮助中国在铁法、开滦和松藻矿务局进行了瓦斯抽放和利用试点工作。

**煤的储气方式** 煤的储气方式不同于碎屑岩和碳酸盐岩。煤是有机岩,煤层气是成煤作用中由煤层自生后又残留在煤内的气体。煤在热解生气过程中,可以产生封闭式气孔;煤内有植物胞腔孔;凝胶化物质在成岩作用压缩脱水过程中可以产生内生裂隙;后期构造运动又可使煤层产生各种规模和性质的裂隙。因而煤层

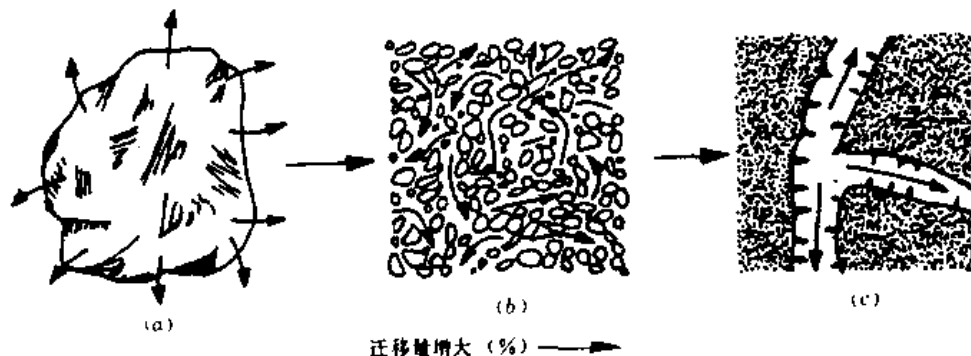


图1 煤层甲烷气迁移过程

a—从煤的内表面解吸; b—通过基岩和微孔隙扩散; c—在自然裂缝网络中流动

表2 中外学者对煤孔隙的分类表 (单位:  $10^{-10}\text{m}$ )

| 分类者           | 超微孔 | 微孔   | 小孔或过渡孔   | 中孔         | 大孔     |
|---------------|-----|------|----------|------------|--------|
| 丘、瓦、霍多特, 1943 |     | <100 | 100~1100 | 1000~10000 | >10000 |
| Geo等, 1972    |     | <32  | —        | 32~300     | >300   |
| IUPAC*, 1972  | <1  | 1~20 | —        | 20~100     | >100   |
| Dehann, 1946  |     | <20  | 20~300   | —          | >300   |
| 王之德           |     | <120 | 120~800  | —          | >800   |
| 杜瑞斌等, 1985    | —   | <80  | 80~1000  | —          | >1000  |
| 柯里逊, 1981     |     | <100 | 100~500  | 500~1500   | >1500  |

\* IUPAC, 国际理论和应用化学联合会。

(据张新民等, 1991, 修改)

是布满复杂孔隙、裂隙的储气层, 气体以吸附、游离和溶解于水等方式存在于煤中。

**吸附气** 美国 C. T. Rightmire 等认为, “甲烷等气体吸附于煤基质孔隙结构表面上, 它是煤层保存甲烷的基本机制”; 前苏联 A. И. 克拉夫卓夫 (A. И. Кравцов)、Г. А. 李金 (Г. А. Лидин) 认为, 煤的吸附以固溶形式 (吸收)、裂隙表面凝聚形式 (吸附) 和在大于分子的孔隙内以凝析形式存在。他们认为, 煤层中大部分天然气处于吸附状态。

**游离气** 占据煤的各式孔隙、裂隙和空洞中的气体。煤内游离气含量取决于煤的孔隙度和煤层承受的压力。深度在 1000m 处的煤层, 由于地压大, 游离气量很少; 煤的孔隙、裂隙被地下水充填时, 煤内游离气也会减少。

**溶解气** 据 Craft 和 Hawkins (1959) 研究, 在压强为  $35\text{kg/cm}^2$ 、温度为  $52.6^\circ\text{C}$  的条件下,  $1\text{m}^3$  水内可溶  $1\text{m}^3$  天然气; 在动态地下水系统中, 饱和甲烷的大量水, 能从潜在的气贮中带走大量气体。

在实验室测定时, 吸附气占绝大部分, 但外界条件变化时, 煤中气体的存在方式可相互转化: 压强大、温度低, 游离气可以转变为吸附气; 反之, 在压强降低, 温度升高的条件下, 吸附气可解吸而转变为游离气。从煤层中抽放甲烷, 必须使煤层卸压, 使煤内吸附气转化为游离气, 再通过各种规模的裂隙进入钻孔 (图 1)。

表3 煤内气体有效分子直径

| 分子                   | 直径分子<br>直径 | 分子                     | 直径分子<br>直径 |
|----------------------|------------|------------------------|------------|
| $\text{H}_2$         | 2.9        | $\text{CH}_4$          | 4.1        |
| $\text{N}_2$         | 3          | $\text{CO}_2$          | 4.7        |
| $\text{H}_2\text{O}$ | 4.1        | $\text{C}_2\text{H}_6$ | 5.5        |
| $\text{H}_2\text{S}$ | 4.1        | $\text{C}_3\text{H}_8$ | 6.1        |

(据 Hunt, 1979)

**煤内孔隙分布** 中外学者用压汞法或气体吸附法对煤内孔隙分布状况进行了研究, 但对煤孔隙的分类

意见却不完全相同 (表 2)。

表 3 提供了煤内气体有效分子直径, 该数据表明甲烷分子的有效直径介于氮气和二氧化碳直径之间。

煤内孔隙大小的分布, 将有效地控制煤中被吸附气体释出的体积和速率, 表 4 提供了 12 个煤样煤中全部开启孔隙大小的分布。

表4 煤中全部开启孔隙的分布情况

| 煤 级      | 孔 隙 分 布 (%)     |       |          |        |
|----------|-----------------|-------|----------|--------|
|          | $C_{\text{ad}}$ | <12 Å | 12~300 Å | >300 Å |
| 无烟煤      | 90.8            | 75.0  | 13.1     | 11.9   |
| 低挥发分烟煤   | 89.5            | 73.0  | 0        | 27.0   |
| 中挥发分烟煤   | 88.3            | 61.9  | 0        | 38.1   |
| 高挥发分烟煤 A | 83.8            | 48.5  | 0        | 52     |
| 高挥发分烟煤 B | 81.3            | 29.9  | 45.1     | 25.0   |
| 高挥发分烟煤 C | 79.9            | 47.0  | 32.5     | 20.5   |
| 高挥发分烟煤 C | 77.2            | 41.8  | 38.6     | 19.6   |
| 高挥发分烟煤 B | 76.5            | 66.7  | 12.4     | 20.9   |
| 高挥发分烟煤 C | 75.5            | 30.2  | 52.6     | 17.2   |
| 褐 煤      | 71.7            | 19.3  | 3.5      | 77.2   |
| 褐 煤      | 71.2            | 40.9  | 0        | 59.1   |
| 褐 煤      | 63.3            | 12.3  | 0        | 87.7   |

(据 Gan 等, 1972; R. Rightmire 修改)

张新民等对中国不同煤级煤样的孔隙分布状况进行了压汞试验, 试样为边长 2cm 的块样, 同一煤层有的做了 10 个样, 有的只做了 4 个样, 有的只做了 1 个样, 其结果经综合后见表 5。

美国煤的孔隙分布中, 微孔 (<12 Å) 主要发育在中高级烟煤和无烟煤内; 中国煤的微孔 (<100 Å) 的孔容占各煤级煤孔容的 1/2 左右, 表明煤的孔隙分布除受煤的变质因素影响之外, 还受煤的显微组分、煤内无机矿物组分及其结构和煤层后期构造运动的综合影响。

(1) 煤的孔隙分布特征与煤的孔隙表面积。人工测



表5 中国不同煤阶煤孔隙分布特征

| 煤种煤阶<br>(煤种十数)  | $R_{0,max}$<br>(%) | 孔 容<br>(mL/g)                    | 孔 隙 体 积 (%)                      |                                  |                                 |                                  |
|-----------------|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
|                 |                    |                                  | 微孔 <100 Å                        | 小孔 100~1000 Å                    | 中孔 1000~10000 Å                 | 大孔 >10000 Å                      |
| 抚顺本溪煤组 (2)      | 0.32               | $\frac{0.07 \sim 0.11^*}{0.09}$  | $\frac{16.71 \sim 15.83}{11.27}$ | $\frac{15.41 \sim 15.59}{20.9}$  | $\frac{2.17 \sim 2.29}{3.23}$   | $\frac{0.36 \sim 0.40}{15.88}$   |
| 焦作 4-5 煤组 (4)   | 0.54               | $\frac{0.07 \sim 0.11}{0.084}$   | $\frac{16.87 \sim 16.03}{42.38}$ | $\frac{22.06 \sim 18.08}{32.02}$ | $\frac{4.52 \sim 11.11}{10.38}$ | $\frac{0.09 \sim 0.46}{18.11}$   |
| 淮南 6 号煤层 (2)    | 0.55               | $\frac{0.12 \sim 0.17}{0.109}$   | $\frac{15.88 \sim 22.07}{16.22}$ | $\frac{22.4 \sim 24.81}{23.61}$  | $\frac{4.82 \sim 6.10}{6.48}$   | $\frac{9.09 \sim 0.85}{8.57}$    |
| 乌鲁木齐 45 号煤层 (2) | 0.62               | $\frac{0.04 \sim 0.07}{0.054}$   | $\frac{43.7 \sim 43.80}{52.80}$  | $\frac{21.3 \sim 21.40}{25.9}$   | $\frac{6.0 \sim 13.40}{9.23}$   | $\frac{0.30 \sim 14.40}{11.37}$  |
| 山西离石 2 号煤层 (1)  | 1.18               | 0.04                             | 44.80                            | 30.20                            | 7.18                            | 17.82                            |
| 陕西 33 号煤层 (1)   | 1.17               | 0.045                            | 32.30                            | 4.67                             | 25.21                           | 37.82                            |
| 丰城 6 号煤层 (10)   | 1.40               | 0.044                            | $\frac{19.27 \sim 13.97}{25.63}$ | $\frac{19.0 \sim 23.10}{21.38}$  | $\frac{4.50 \sim 14.00}{8.73}$  | $\frac{0.90 \sim 21.0}{14.08}$   |
| 鸡西 12 号煤层 (1)   | 1.42               | $\frac{0.026 \sim 0.125}{0.053}$ | $\frac{16.45 \sim 11.15}{16.52}$ | $\frac{18.29 \sim 21.45}{25.43}$ | $\frac{3.04 \sim 3.65}{16.7}$   | $\frac{12.60 \sim 16.67}{22.04}$ |
| 丰城 6 号煤层 (1)    | 1.42               | 0.023                            | 61.80                            | 16.00                            | 4.39                            | 17.40                            |
| 大同 2 号煤层 (1)    | 1.04               | 0.046                            | 44.71                            | 26.37                            | 7.13                            | 21.40                            |
| 朔州 10 号煤层 (1)   | 1.00               | 0.053                            | 46.04                            | 26.83                            | 3.94                            | 23.17                            |
| 南桐 4 号煤层 (2)    | 1.01               | $\frac{0.015 \sim 0.025}{0.02}$  | $\frac{15.24 \sim 16.42}{47.88}$ | $\frac{25.07 \sim 25.53}{28.05}$ | $\frac{2.91 \sim 6.12}{6.02}$   | $\frac{12.24 \sim 16.43}{14.32}$ |
| 阳泉 2 号煤层 (1)    | 2.10               | 0.021                            | 29.40                            | 22.20                            | 3.35                            | 4.25                             |
| 准格尔 2-1 煤层 (1)  | 2.32               | 0.03                             | 65.18                            | 34.11                            | 4.41                            | 6.68                             |
| 门头沟 14 号煤层 (1)  | 7.1                | 0.0105                           | 46.74                            | 24.44                            | 11.11                           | 23.70                            |

\* 最小值~最大值  
平均值

(据张新民, 1991, 综合、修改)

定的煤孔隙的各种表面积值, 只有相对意义而无绝对意义。实验证明, 它随煤样质点大小、水分含量、被吸附物的成分、抽气时间和温度、被吸附物的横截面积和吸附时间的不同而变化。南蒂 (Nandi) 和沃克 (Walker) 在 1971 年的试验中, 当用氮气做吸附物时, 不同煤种煤的孔隙表面积在  $1 \sim 10 \text{ m}^2/\text{g}$  之间, 而当用  $\text{CO}_2$  作吸附气体时, 18 种煤的表面积却在  $110 \sim 310 \text{ m}^2/\text{g}$  之间。张新民等 (1991) 在用压汞法作煤的孔隙分布测定的同时, 也测定了煤的孔隙表面积, 以门头沟  $R_{0,max}$  为 7.10 的 14 号煤层的煤的表面积最小, 仅为  $4.21 \text{ m}^2/\text{g}$ , 内蒙古准格尔  $R_{0,max}$  为 0.55% 的 6 号煤层

的煤的孔隙平均表面积最大, 达  $42.73 \text{ m}^2/\text{g}$ 。煤孔隙的孔容和表面积无绝对关系。孔隙表面积在  $20 \text{ m}^2/\text{g}$  以上的属  $R_{0,max}$  为 0.62% 以下煤;  $R_{0,max}$  为 1.4%~1.42% 的煤, 孔隙表面积为  $10.11 \sim 17.50 \text{ m}^2/\text{g}$ , 反射率为 2.30% 和 3.32% 的无烟煤的孔隙表面积分别为  $15.90 \text{ m}^2/\text{g}$  和  $12.27 \text{ m}^2/\text{g}$ 。

(2) 煤的孔隙特征与煤层的透气性。煤层的透气性是开采煤层气和评价煤储层的重要指标。通常认为, “直径  $0.1 \sim 1.0 \mu\text{m}$  的中孔构成了气体缓慢流动的层流渗透区; 直径  $1 \sim 100 \mu\text{m}$  的大孔构成速度较快的层流渗透区; 直径  $100 \mu\text{m}$  以上, 肉眼也能看见的孔隙和



裂隙构成层流及紊流的混合渗透区。这三部分孔隙构成了渗透容积,它们在总孔隙中所占比重越大,其渗透

性越好”(于不凡,1985),煤炭科学研究院抚顺分院多年实测中国煤层渗透率的资料见表6。

表6 中国矿井煤层透气系数、渗透率统计表

| 地质时代                    | 测 点  |     |      | 煤 种   | 透气性系数<br>( $\text{m}^2/\text{atm} \cdot \text{d}$ ) | 渗 透 率<br>( $\text{mD}$ ) |
|-------------------------|------|-----|------|-------|---|--------------------------|
|                         | 省(区) | 矿 区 | 矿 井  |       |   |                          |
| $\text{C}_2-\text{P}_1$ | 安徽   | 淮南  | 谢一矿  | 气煤、肥煤 | 0.0023  | 0.00575                  |
|                         |      |     | 谢二矿  | 气煤、肥煤 | 0.0020~0.2090                                       | 0.0050~0.5000            |
|                         |      |     | 潘一矿  | 气煤、肥煤 | 0.00034   | 0.00085                  |
|                         |      | 淮北  | 芦岭矿  | 气煤    | 0.00027   | 0.000675                 |
|                         | 河南   | 焦作  | 李封矿  | 无烟煤   | 0.00050   | 0.00125                  |
|                         |      |     | 小马村矿 | 无烟煤   | 0.00032   | 0.00080                  |
|                         |      |     | 中马村矿 | 无烟煤   | 0.000324  | 0.00081                  |
|                         |      |     | 九里山矿 | 无烟煤   | 0.000324  | 0.00081                  |
|                         |      | 鹤壁  | 二 矿  | 瘦煤、贫煤 | 0.0300  | 0.0750                   |
|                         |      |     | 四 矿  | 瘦煤、贫煤 | 0.00040   | 0.0010                   |
|                         |      |     | 六 矿  | 瘦煤、贫煤 | 0.0150  | 0.0375                   |
|                         | 河北   | 峰峰  | 羊渠河矿 | 焦煤、瘦煤 | 0.1000~0.0010                                       | 0.2500~0.0025            |
|                         | 山西   | 阳泉  | 一 矿  | 无烟煤   | 0.00015   | 0.000375                 |
| $\text{P}_2$            | 江西   | 萍乡  | 青山矿  | 无烟煤   | 0.000014  | 0.000035                 |
|                         |      | 丰城  | 建新矿  | 焦煤    | 0.0015  | 0.00375                  |
|                         |      | 乐平  | 涌山矿  | 无烟煤   | 0.00005   | 0.000125                 |
|                         | 湖南   | 涟邵  | 立新矿  |       | 0.0110  | 0.0275                   |
|                         |      | 白沙  | 红卫矿  | 无烟煤   | 0.0054~0.0095                                       | 0.01350~0.02375          |
|                         | 贵州   | 六枝  | 六枝矿  | 焦煤    | 0.00052   | 0.00130                  |
|                         |      |     | 地宗矿  | 焦煤    | 0.00050   | 0.00125                  |
|                         |      |     | 四角田矿 | 瘦煤、贫煤 | 0.0054  | 0.0135                   |
|                         |      |     | 化处矿  | 贫煤    | 0.0044  | 0.0110                   |
|                         |      | 水城  | 汪家寨矿 | 肥煤、焦煤 | 3.7610  | 1.9025                   |
|                         |      |     | 太河边矿 | 气煤    | 0.925   | 2.3125                   |
|                         |      |     | 老鹰山矿 | 气煤、肥煤 | 0.745   | 1.8625                   |
|                         |      |     | 鱼田堡矿 | 瘦煤    | 0.00010   | 0.00025                  |
|                         | 四川   | 南桐  | 东林矿  | 焦煤、瘦煤 | 0.001   | 0.010                    |
|                         |      |     | 刘家沟矿 | 焦煤    | 0.00435   | 0.010875                 |
|                         |      | 天府  | 三汇一矿 | 贫煤    | 0.00435   | 0.010875                 |
|                         |      |     | 三汇三矿 | 焦煤    | 0.00435   | 0.010875                 |
|                         |      |     | 中梁山矿 | 焦煤    | 0.0028~0.0057                                       | 0.007~0.01425            |
|                         |      |     |      |       |   |                          |

续表

| 地质时代 | 测 点  |     |      | 煤 种    | 透气性系数<br>( $\text{m}^2/\text{atm} \cdot \text{d}$ ) | 渗 透 率<br>(mD) |
|------|------|-----|------|--------|---|---------------|
|      | 省(区) | 矿 区 | 矿 井  |        |   |               |
| J    | 辽宁   | 北票  | 三宝一井 | 焦煤     | 0.0009  | 0.000975      |
|      |      | 铁法  | 大明二矿 | 长焰煤    | 0.0460  | 0.1150        |
|      |      |     | 大隆矿  | 长焰煤    | 0.00047   | 0.001175      |
|      |      |     | 晓南矿  | 长焰煤    | 0.00051   | 0.001275      |
|      | 黑龙江  | 鸡西  | 平岗三井 | 焦煤     | 0.00015   | 0.000375      |
|      |      | 七台河 | 红旗一井 | 瘦煤、贫煤  | 0.3000  | 0.7500        |
|      | 内蒙古  | 包头  | 河滩沟矿 | 肥煤、焦煤  | 0.1130~0.1740                                       | 0.2825~0.4350 |
| E    | 辽宁   | 抚顺  | 老虎台矿 | 气煤     | 1.2000~1.3000                                       | 3.0000~3.2500 |
|      |      |     | 龙凤矿  | 气煤     | 0.5000~1.5000                                       | 1.2500~3.7500 |
|      |      |     | 胜利矿  | 长焰煤、气煤 | 0.3100~0.3920                                       | 0.7750~0.9800 |

(据煤炭科学研究总院抚顺分院)

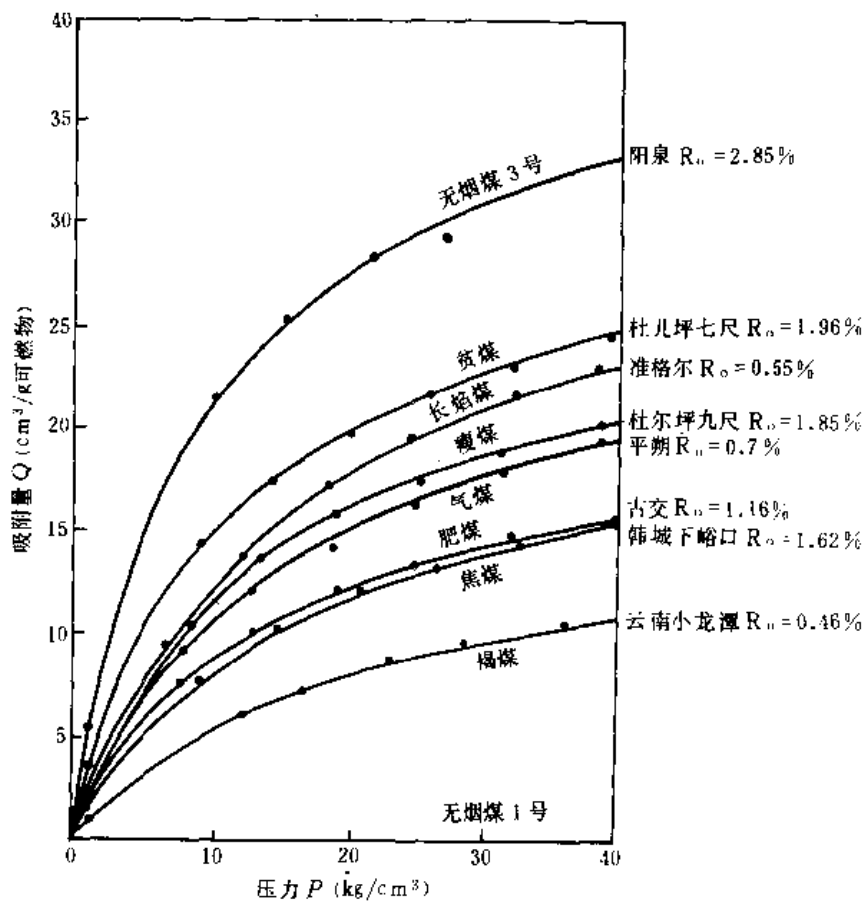


图2 中国各煤类煤的吸附等温线图

**煤的吸附性能** 煤的固体表面积蓄气体的能力。它是评价煤层极限甲烷含量的依据。其测定方法是：将煤样破碎到粒径为 0.2~0.25mm，称取 40~50g 在 80℃ 的温度下烘干后，装入装有压力表的吸附罐，在温度 60℃ 的条件下脱气后，注入 40kg/cm<sup>2</sup> 压力的甲烷气并在 30℃ 的条件下将其让煤层吸附，待吸附罐上压力表指针稳定后读数，然后慢慢分阶段放气，在测定放出的气量的同时，读取吸附罐压力表值，直到压力回零。再根据煤样水分和灰分，把吸附量换算成可燃基煤重。利用上述数值就可绘出煤层吸附等温线。张新民等对中国各时代各变质程度（镜质组大于 60%）的煤以及同一煤层中不同煤岩类型的煤进行吸附试验的结论认为，“煤的吸附能力的大小，主要取决于煤的变质程度和煤岩成分”（图 2、图 3）。

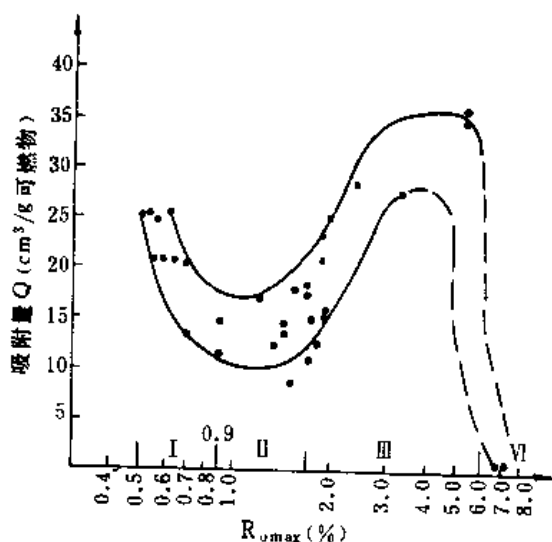


图 3 煤的吸附量与煤变质程度的关系  
(据张新民等)

张新民等按吸附量把煤的变质程度划分 I~IV 四区：I 区即长焰煤、气煤区，是吸附量随变质程度下降区；II 区即肥煤、焦煤区，是吸附量低谷区；III 区即瘦煤、贫煤直至无烟煤 2 号区，是吸附量上升区，达到吸附峰值；IV 区即无烟煤 1 号区，是吸附量又急剧下降区，当  $R_{\max}$  为 7.1% 时，基本不吸附。他们认为，门头沟煤矿属低瓦斯煤矿的原因也在于此。

在长焰煤至瘦煤阶段，各显微煤岩组分的吸附能力表现为：惰质组 II > 镜质组 > 惰质组 I 和惰质组 III。其中，惰质组 II 是有孢腔结构而充填的丝质体；惰质组 I 是无结构丝质体；惰质组 III 是被充填的有孢腔结构的丝质体。三大显微煤岩组分中，以壳质组的吸附能力最低。

以上测定是在实验室烘干条件下完成的。相同煤

层不同水分的煤吸附甲烷的能力也不同，含水分多的煤吸附量小。

**含量影响因素** 包括生成影响因素和保存影响因素。生成影响因素主要是煤变质程度。保存影响因素有煤层埋藏深浅、倾角大小、顶底板岩石的透气性、褶曲、断层对煤层的破坏程度和它们的力学性质及其转化、水文地质条件等。上述两大影响因素中，以保存影响因素更具有决定性作用。

**煤变质程度的影响** 煤层是成煤作用中生气的物质基础，煤的变质程度是决定甲烷气体产生多少的重要因素（见煤成气）。这些气体又主要吸附在煤的微孔隙内，煤中微孔隙的多少，与煤的变质程度有密切关系，因此煤的变质程度对煤的生气量和储气量起控制作用。

**煤层埋藏深浅和煤层倾角的影响** 煤层在暴露地表的条件下，煤中的甲烷可以沿煤层的裂隙扩散运移到地表，在煤层内形成瓦斯风化带和甲烷带。煤内气体中甲烷成分低于 80% 的地带称瓦斯风化带；煤内气体中甲烷成分超过 80% 的地带称甲烷带。从甲烷带往下，煤层内甲烷含量随深度增加，在 700~1000m 以深，甲烷含量趋于稳定。在埋藏深度相同的条件下，倾角大的煤层比倾角小的煤层到达地表的路径短，所以瓦斯风化带的深度比倾角小的煤层深。

**煤层顶底板岩石透气性的影响** 中国抚顺煤田煤层顶底板岩石为致密的泥岩、油页岩，使煤内甲烷气体得以封闭保存；相反，中国大同煤田煤层顶板为厚层砂岩，成煤作用产生的气体可以进入砂岩，再由砂岩露头运移到地表，使煤层中甲烷含量减小。

**褶曲和断层的影响** 褶曲和断层在各个煤田表现不一，形成的经历也各不相同，对煤层甲烷气的保存或是排放应作具体分析。中国重庆南桐煤矿背斜仰起端煤层暴露，褶皱紧闭，岩石裂隙发育，煤层甲烷含量比其东侧的八面山向斜小，而背斜倾伏端，煤层甲烷含量则又变大。中国淮南潘集背斜是一个宽缓背斜，煤层多，第四纪未被剥蚀的煤层，被顶板泥岩封闭，煤层甲烷含量高。断裂构造从形态上分有正、逆之别，逆断层一般在挤压应力作用下形成，不利于气体外逸；正断层较多在拉伸应力条件下形成，一般有利于气体的排放，但其在后期应力场变化条件下，也可以变为压扭断层带，或者断层带被煤层上下的泥岩封住，也可阻止气体外逸。

**水文地质条件的影响** 一般大水矿井煤内甲烷少，小水矿井煤内甲烷大。水和气都是流体，水往低处流，气往高处走。它们的通道都是岩石的裂隙、孔隙、断层。水若能利用这些通道进入煤田，气体也能利用这

些通道逸至地表。因此,水大矿井气体必少。水若流动,还可溶解甲烷,在漫长的地质历史时期中带走大量甲烷。

**含量测定** 早期,中国在煤田地质勘探时,多从钻孔中用“密闭取心器”取样,测定煤心含气量及气体组分,但成功率低。现多用“解吸法”测定。该法是在美国矿业局“直接法”基础上稍加改进。取样测定时把煤层内气体含量分为损失量、解吸量、室内第一次脱气量和室内第二次脱气量等四部分。由于损失量是利用解吸曲线外推,至今该法误差较大(美国认为有25%~30%误差),有待改进(见瓦斯采取器)。

**资源评价** 依据美国经验,煤层甲烷地质评价和孔位选择需要收集拟抽放甲烷煤层(目的层)的厚度变化、分布范围、地质构造特点和埋藏深度、目的层煤的工业牌号(变质等级)、气体组分和煤层甲烷含量;目的层的储层参数(渗透率、储层压力、水的饱和度)等资料。其中,煤层甲烷含量一般应大于 $8\text{m}^3/\text{t}$ 煤;埋藏深度应小于1000m;渗透率应达0.3mD。

#### 参考书目

- 张新民等,《中国的煤层甲烷》,陕西科技出版社,1991。  
C. T. Rightmire 等,《美国煤层甲烷资源》,马学昌等译,地质出版社,1990。  
地质矿产部华北石油地质局,《煤层气译文集》,河南科学技术出版社,1990。

(陆国楨)

meiceng wasi hanliang caiyang

**煤层瓦斯含量采样** (sampling for gas content in coal seam) 在煤田地质勘探阶段,为测定煤层中的瓦斯含量和成分而从钻孔煤心中采集煤样的工作。煤层瓦斯含量采样,目前一般首先将从钻孔取出的煤心及时装入密封罐,取出一部分用解吸仪测定煤样中瓦斯解吸量,分析其随时间的变化规律。同时,根据煤样的暴露时间计算采样过程中损失的瓦斯量。然后,将仍装有一部分煤样的密封罐送到实验室,用这一部分煤样测定煤心中残存的瓦斯含量。最后,用解吸瓦斯量(包括解吸量和损失量)与残存瓦斯量的总和,除以煤心中可燃物质的重量,求出煤层中的瓦斯含量。

**沿革** 煤层瓦斯含量采样方法的发展大体分为三个阶段。第一阶段,即20世纪50年代,主要应用瓦斯真空管取样。第二阶段,即20世纪60年代初,采用煤炭科学研究院抚顺研究所在引进苏联瓦斯采取器基础上研制的“抚顺65型集气式瓦斯采取器”。第三阶段,即20世纪70年代末,开始采用解吸法测定煤层瓦斯含量。

**采样仪器设备** ①密封罐。内径大于煤心直径10mm,容积足够装400g煤样,在15标准大气压下可保持气密性。②瓦斯解吸速度测定仪,简称解吸仪,量管体积800mm,最小刻度4mm,温度计刻度 $0\sim 50^\circ\text{C}$ ,分度 $1^\circ\text{C}$ 。③空盒气压计,依采样点当地标高,分别选择高原型或平原型。④16号胸骨穿刺针头等。

**采样前准备工作** 密封罐在使用前,用清水洗净,烘干或风干,检查气密性(加压到3~4atm不得有漏气现象)。解吸仪在使用前,用吸气球将其量管内水面提升至零刻度点,关闭螺旋夹,放置十分钟,量管内水面不动方为合格。

**煤样采取方法** 使用普通煤心管钻取煤心,一次取心长度不小于0.4m,煤样重量需超过250g。在取煤提钻过程中,向钻孔反灌冲洗液,并保持冲洗液始终充满钻孔。提钻应连续进行,如因机械故障提钻中途停顿,在孔深200m以浅,不得超过五分钟;在200m以深,也不得超过十分钟。采样时,应详细记录起钻时间 $T_1$ 、钻具提至孔口时间 $T_2$ 、煤样装罐时间 $T_3$ 、开始解吸时间 $T_4$ 。 $T_2$ 与 $T_3$ 时间间隔不得超过十分钟。对于柱状煤心,取其中含矸少的部分;对于粉状及块状煤心,要剔除矸石、泥皮及钻进中研磨烧焦部分。煤样以自然状态装入密封罐(不得用水清洗、不得压实),罐口保留1cm空隙。

解吸法取样不适用于严重漏水钻孔、喷瓦斯钻孔和井下倾斜钻孔,也不适用于测定岩石瓦斯含量的取

**瓦斯解吸速度的测定** 用排气管连接密封罐与解吸仪,从煤样泄出的瓦斯进入解吸仪量管,用排水集气法将瓦斯收集在量管内。随后,每隔一定时间记录量管刻度读数及测定的时间,共观测两小时(开始观测的头一小时内,第一次间隔两分钟,以后每隔三五分钟读数一次;第二小时内,每隔一二十分钟读数一次),测定瓦斯解吸速度。

#### 损失瓦斯量的计算

(1)按转换公式将解吸仪量管中读数转换成标准条件下体积:

$$V_0 = \frac{273.2}{760(273.2 + t_w)} \left( P - \frac{h_w}{13.6} - W \right) V$$

式中 $V_0$ 为标准条件下的气体体积,mL; $V$ 为量管内气体体积读数,mL; $P$ 为大气压,mmHg; $t_w$ 为量管内水温, $^\circ\text{C}$ ; $h_w$ 为量管内水柱高度,mm; $W$ 为 $t_w$ 下饱和水蒸气压力,mmHg。

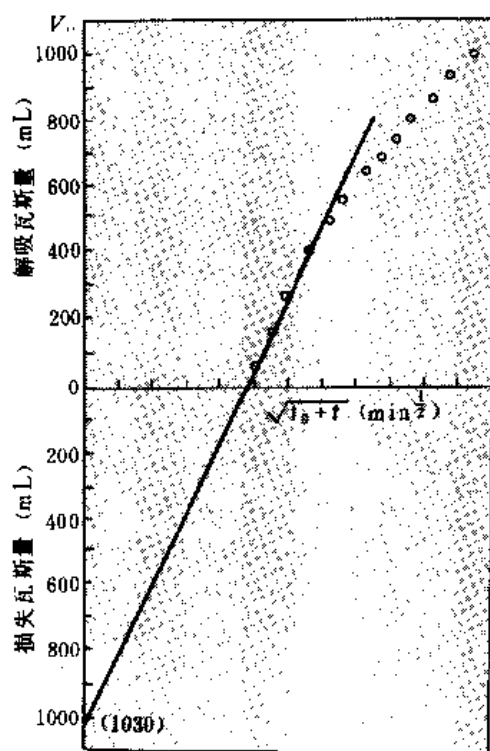
(2)煤样解吸瓦斯时间的计算。①煤样装罐前的暴露时间 $t_0$ 是孔内暴露时间 $t_1$ 与地表空气中暴露时间 $t_2$ 之和。即 $t_0 = t_1 + t_2$ 。式中, $t_1 = \frac{1}{2}(T_2 - T_1)$ , $t_2 =$



$T_3 - T_2$ 。②煤样总解吸瓦斯时间  $T_0$  是装罐前的暴露时间  $t_0$  与装罐后解吸后解吸观测时间  $t$  之和, 即  $T_0 = t_0 + t$ , 解吸观测时间从  $T_0$  算起。③求出每个观测点的  $\sqrt{t_0 + t}$  值。

(3) 瓦斯损失量的计算。分为图解法和解析法。①图解法。以  $V_0$  为纵坐标、 $T = \sqrt{t_0 + t}$  为横坐标, 将全部测点标绘在坐标纸上。把开始解吸一段时间内呈直线关系的各点连, 并延长与纵坐标轴相交, 直线在纵轴上的截距, 即为所求的瓦斯损失量 (下图)。②解析法。煤样开始暴露一段时间内  $V_0$  与  $T$  呈直线关系, 即

$$V_0 = a + bT$$



瓦斯损失量计算图

式中  $a$ 、 $b$  为待定常数, 当  $T=0$  时,  $V_0=a$ ,  $a$  值即为所求的瓦斯损失量。计算  $a$  值前, 首先按与图解法相同方式作图, 由图大致判定呈线性关系的各测点。根据各测点的坐标值, 按最小二乘法求出  $a$  值。当解吸观测点比较分散或解吸瓦斯量较大时, 此法比较方便。

(许友志)

mei chenji moshi

**煤沉积模式** (coal depositional model) 又称聚煤模式, 用沉积模式的理论和方法, 研究含煤岩系、煤层在空间的组合、变化特征, 重建聚煤古地理,

解释不同环境下聚煤作用具有不同特点的原因, 阐明煤层厚度、结构和煤质以及煤层顶底板的某些特点在环境因素控制下变化规律的理想简化形式。每个煤沉积模式所反映的沉积环境、聚煤条件、煤层分布, 甚至煤岩、煤质特征, 及其控制因素都不相同。

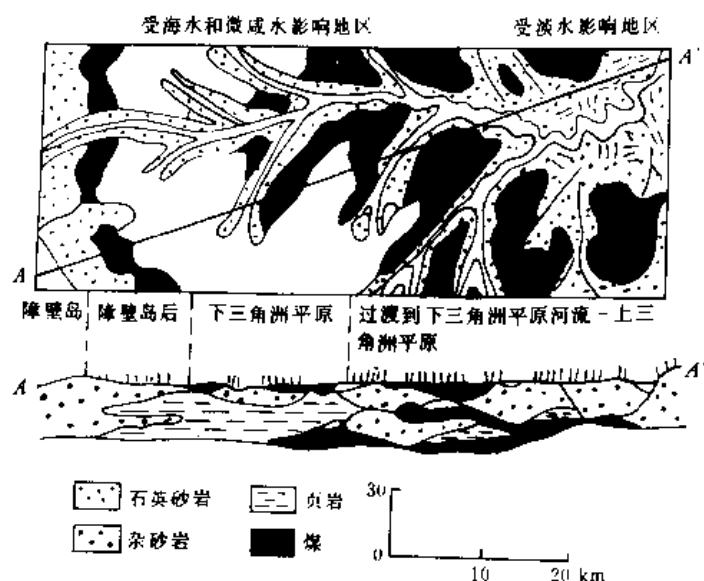
**研究的必要性** 煤的聚集, 只有在成煤植物物质、气候、地形、地壳运动以及地下水位、水介质特征、碎屑物注入量等多种外界条件的持续配合下, 才能形成有工业价值的煤层。由于上述各种条件的千变万化, 因而在不同地质时代和不同地区形成的煤层, 其形态、厚度、煤质等均有差异。聚煤作用的这个特点, 使得对含煤岩系开展一般性的沉积环境研究已远远不够, 必须加强煤层、煤质变化的沉积控制因素的研究, 总结聚煤规律, 指导煤田地质勘探。

**研究历史和现状** 将沉积模式研究的理论和方法应用于研究含煤岩系, 近 20 年来逐步形成了沉积地质学和煤田地质学相结合的一个新的领域——各种环境下煤的沉积模式的研究。J. C. 弗姆 (J. C. Ferm) 于 1974 年, 将他和 E. G. 威廉斯 (E. G. Williams) 早先提出的美国阿巴拉契亚区石炭系阿勒格尼 (Allegheny) 组的沉积模式进一步具体化, 区分出了冲积平原、上三角洲平原、下三角洲平原、障壁岛和障壁岛后环境。J. C. 霍恩 (J. C. Horne) 等 (1978) 又进一步修改、补充该模式, 建立了目前已为大家所熟知的, 适用于滨海地区聚煤模式 (下页图)。他们详述了各个环境带的沉积特征及聚煤作用特点, 特别强调了上、下三角洲平原过渡带在形成有工业价值煤层上的重要性。他们把经过修改、补充的阿勒格尼组沉积模式称为煤田勘探中的沉积模式 (depositional model in coal exploration), 并提出, 某个煤田的沉积模式一旦确定, 就可用于预测该区煤层的分布, 圈出最适于进一步勘探的地区; 还可将其不同程度地用于了解一个煤矿矿井中各个煤层的厚度和质量变化, 以及顶板或底板性质的变化, 从而成为矿井设计中非常重要的辅助手段。

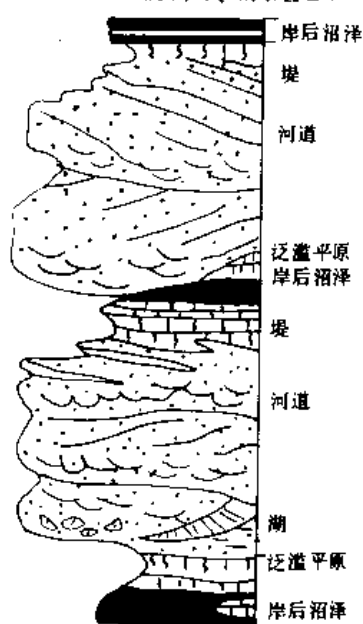
随着沉积学和沉积地质学的迅速发展, 人们已识别了越来越多的含煤岩系沉积类型, 相继建立了冲积扇和扇三角洲、河流、湖泊、河口湾-潮坪、障壁-海岸、碳酸盐缓坡、碳酸盐陆架等多种含煤沉积体系的沉积模式。对三角洲沉积体系, 除阿勒格尼组这种以河流作用为主的三角洲沉积外, 还建立了以波浪作用为主的和以潮汐作用为主的三角洲沉积体系的沉积模式。

现已建立的各种煤沉积模式, 主要可说明两个方面的问题。

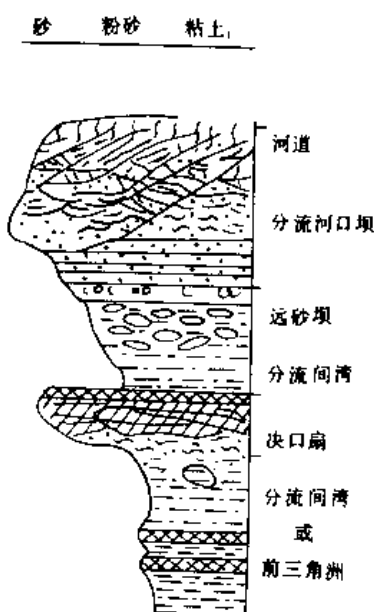
(1) 影响聚煤过程及煤质的气候条件, 植物条件,



(a) 上三角洲平原区的垂直层序



(b) 下三角洲平原区的垂直层序



适用于滨海地区聚煤模式图  
(据 Horne 等, 1978)

蓄水盆地的水位和水深变化,聚煤地段的地形起伏,溢岸沉积作用,水系改道,沼泽水介质条件,海水的影响和差异压实效应等各种自然因素的特点和所起的作用。

(2)在上述各种自然因素影响下,聚煤作用的主要特征,包括煤层厚度、煤层结构、煤岩特征、煤的灰分

和硫分、煤层顶底板特征等及其空间变化规律。

开展现代沼泽、泥炭沼泽和泥炭层的研究,对认识古代聚煤作用和建立煤沉积模式是十分有益的。在这方面,20世纪60年代以来比较著名的有美国学者对密西西比河三角洲广布的树沼泽和草沼泽,障壁岛后斯纳格底(Snuggedy)沼泽、佛罗里达大沼泽地(Everglades)、弗雷泽河流三角洲泥炭以及对若干河流平原沼泽的研究。近期工作的主要特点是注重从植物学、孢粉学、水化学、煤化学、煤岩学、沉积学等方面进行综合研究,其成果已被广泛应用于与古代聚煤作用的对比研究。

**应用概况** 熟悉已有的煤沉积模式,无疑有助于开展对含煤岩系聚煤规律的研究,特别是对新区或勘探程度较低地区的研究。国内外已有不少地质学家尝试着利用煤沉积模式在相对薄煤区寻找厚煤层,在高硫煤区寻找低硫煤,在高灰煤区寻找低灰煤,在开采技术条件复杂地区寻找开采技术条件相对较好的地段。这些工作,多数取得了较好的效果,证明煤沉积模式具有应用价值。但任一已有的煤沉积模式,都是根据特定地区的资料提炼的,它既反映了某种沉积体系聚煤过程的一般特点,

又带有很强的地区特色。因此,在实际工作中,既要学习、借鉴这些模式,又不可机械照搬,重要的是总结适用于自己工作地区的煤沉积模式。

#### 参考书目

J. C. Horne, J. C. Ferm and B. P. Baganz, 1978, Depositional models in coal exploration and mine planning in Appalachian



region, Bull. of AAPG, Vol. 62, No. 12.

R. A. Rahmani and R. M. Flores (eds), 1984, Sedimentology of coal and coal-bearing sequences, Spec. Publ. Int. Ass. Sediment. 7.

P. J. McCabe and J. T. Parrish, 1992, Controls on the distribution and quality of Cretaceous coals, Special Paper 267, Geological Society of America.

陈钟惠,《煤和含煤岩系的沉积环境》,中国地质大学出版社,1988.

(陈钟惠)

meichengqi

**煤成气** (gas from coal, coal gas) 煤层和含煤岩系其它岩石中的有机质在煤化作用过程中生成的气态烃(天然气),其成分主要为甲烷,可含不等量的重烃,少量氮和二氧化碳,它在自然界主要赋存在煤层和含煤岩系内外的多孔岩石内,前者称煤层气或煤层甲烷,是煤矿瓦斯的主要来源;后者在合适的封闭条件下可聚集成天然气藏,是当前寻找天然气的主要对象(见煤层气)。

**研究沿革** 20世纪50年代末在荷兰首次发现了与石炭纪煤系有关的格罗宁根特大型气田。以后,又在亚洲、大洋洲和美洲的一些含煤盆地中发现了大气田。到70年代末,人们发现世界天然气储量中的70%~80%来自含煤岩系,储量超过1000Gm<sup>3</sup>的世界14个特大气田中有8个属煤成气田,其中包括世界最大气田俄罗斯西西伯利亚盆地中的乌连戈依气田,天然气储量达7800Gm<sup>3</sup>。

人类和煤层内的甲烷相识已有很长历史,但对含煤岩系作为天然气源并能形成大型天然气田的认识,却是近期地质、地球化学和煤岩学研究的结果。最早研究煤在成熟过程中生成天然气机理的是德国学者H. 荣特根与J. 卡维尔 H. Jüntgen & J. Karweil, 1966, 荣特根与J. 克莱因(J. Klein 1975)探讨了不同煤岩组分成熟产气的过程。对煤成气判识做出贡献的是德国学者E. 斯塔赫(E. Stach, 1974、1977)。他利用不同煤级所产甲烷的碳同位素,建立了判别煤成气和油成气的 $\delta^{13}C_1-R$ 的回归方程。前苏联天然气研究所在对各种煤的热模拟试验中,探索了在煤化不同阶段产生气体的成分和产气量。

70年代末,中国石油勘探开发科学研究院率先在国内开展煤成气专题研究,提出含煤岩系是中国天然气勘探的新领域并开始研究四川天然气田和中原油田文留气藏的碳同位素和稀有气体的组成特征,讨论天然气的成因判识。1983年,中国正式将“煤成气的开

发研究”列为国家“六五”科技攻关重点项目,由石油工业部、地质矿产部、煤炭工业部和中国科学院有关单位联合攻关。他们的成果陆续反映在《煤成气地质研究》、《中国主要煤田的浅层煤成气》、《煤成烃地球化学》等论著和科研报告《中国煤成气形成赋存条件及资源评价》中。据地质矿产部概算中国9个主要煤盆地的煤成气资源量为5800Gm<sup>3</sup>,煤层甲烷资源量1.79万Gm<sup>3</sup>。据煤炭科学研究总院西安分院概算,中国浅层煤成气资源量为600Gm<sup>3</sup>,煤层气为3万Gm<sup>3</sup>。据石油工业部石油勘探开发科学研究院等预测,中国11个主要煤盆地的远景资源量为1.13万Gm<sup>3</sup>,加上其余小煤盆地,全国煤成气远景资源量超过1.5万Gm<sup>3</sup>。

除概算了资源量外,上述研究者还对煤成气的地球化学特征、判别指标,不同煤样、不同煤岩组分在热模拟试验过程中产生的气体组分、产气率等进行了研究,并提出了含煤岩系有机质成气特征和成气模式。

**世界著名煤成气田** 主要有西欧北海—中欧盆地、卡拉库姆盆地、西西伯利亚盆地、维柳伊盆地、圣胡安盆地、澳大利亚中部盆地等。

**西欧北海—中欧盆地** 气源岩为晚石炭世维士法阶含煤岩系,储气层为早二叠世的赤底统砂岩,盖层为晚二叠世蔡希斯坦统膏盐沉积。该盆地发现的80个气田内煤成气初步探明储量为4190Gm<sup>3</sup>。其中,荷兰为3140Gm<sup>3</sup>;英国为920Gm<sup>3</sup>;德国为130Gm<sup>3</sup>。著名的荷兰格罗宁根气田,在800km<sup>2</sup>范围内,拥有天然气储量为2200Gm<sup>3</sup>。

**哈萨克土库曼的卡拉库姆盆地** 位于科彼特山山前拗陷,面积27万km<sup>2</sup>,气源岩为早中侏罗世的陆相含煤岩系,储气层为中侏罗统碎屑岩、上侏罗统碳酸盐岩、下白垩统砂岩和上白垩统碳酸盐岩。该盆地已查明有70多个油气田,其中气田60多个,有12个气田的储量为500~1500Gm<sup>3</sup>。著名的气田为加兹里气田和沙特里气田。

**俄罗斯西西伯利亚盆地** 叠覆于海西期褶皱基底上的中生代盆地,面积350万km<sup>2</sup>。含煤岩系为上白垩统波库尔组的下部,该组上部的砂岩层是良好的储气层,砂岩之上为海相的泥岩,成为良好的盖层。后期经历轻微褶皱,在背斜部位形成特大型的油气藏。该盆地已发现94个气藏和123个凝析气藏,1978年探明储量1.8万Gm<sup>3</sup>,其中有8个气田储量超过1000Gm<sup>3</sup>,著名的乌连戈依气田储量为5940Gm<sup>3</sup>。

俄罗斯的维柳伊中新代盆地、美国圣胡安中生代盆地、澳大利亚中部晚古生代和中生代盆地也属大型煤成气盆地。

**成因** 植物残体在成煤作用下的生气机制有早期

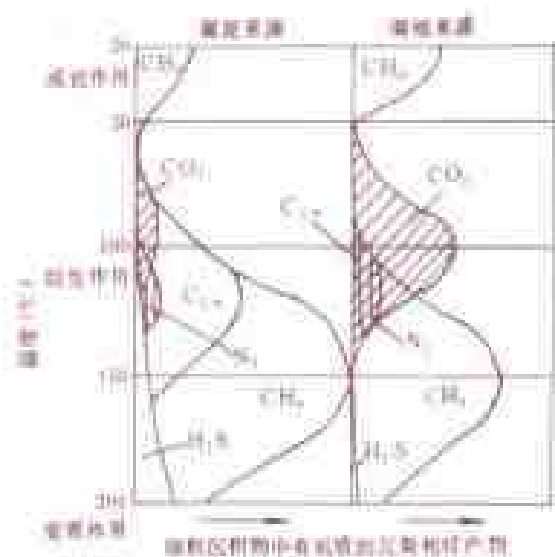


图1 气体的产生与温度的关系

( $C_{2+}$ 为气相中重于 $CH_4$ 的烃类; $N_2$ 最初呈 $NH_3$ 产出)

(据 J. M. Hunt, 1979)

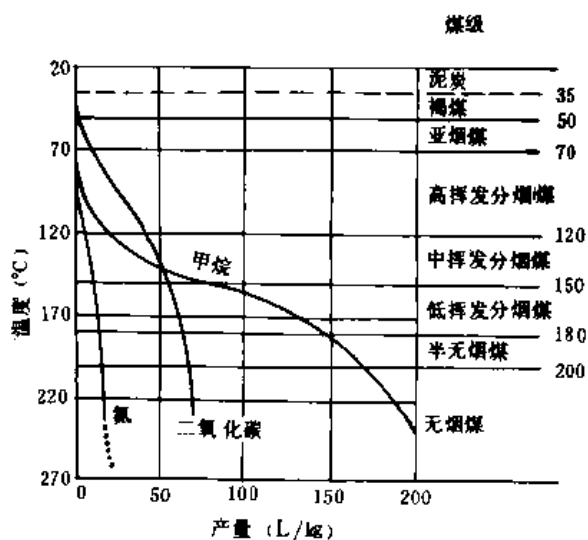


图2 煤化作用时由煤产生的各种气体的计算曲线

(据 J. M. Hunt, 1979)

生物成因和后期热成因两种。

**生物成因** 生气时限大体与泥炭转变成褐煤相当, 温度不超过 $50^{\circ}C$ 。植物残体在还原环境下由厌氧

细菌分解, 消耗其中氧而产生甲烷。

**热成因** 随着有机物埋深的增大, 地温超过 $50^{\circ}C$ , 厌氧细菌无法生存而停止活动, 地温使有机物热解, 在褐煤转化为烟煤的同时, 热解产生二氧化碳、甲烷。当地温升高到 $100^{\circ}C$ 左右时, 二氧化碳产出率达到高峰。当地温上升到 $120^{\circ}C$ 左右时, 转化成气煤, 并有少量重烃产出。当地温进入 $150^{\circ}C$ 时, 转化成肥煤, 甲烷产出率达到高峰。煤化作用中地温与产气的关系如图1、图2所示。

**产率** 为了评价一个煤盆地在地质历史中煤及泥岩中的有机物究竟产生了多少煤成气, 中外学者进行了探索, 并用热模拟试验试图获得定量数据, 他们采用了热解产气率、视煤气发生率和煤气发生率等三种计量方式。

**热解产气率** 1t 褐煤在热模拟试验中演化到各煤级时所生气体的总体积, 以 $R_i$ 表示。

$$R = \frac{Q_i}{W_b}, \quad m^3/t$$

式中 $Q_i$ 为褐煤演化到某煤级( $i$ )时所生气体的总体积,  $m^3$ ;  $W_b$ 为褐煤样品重,  $t$ 。

**视煤气发生率** 由褐煤演化为1t 某煤级烟煤时所生气体的总体积, 以 $R_a$ 表示。

$$R_a = \frac{Q_i}{W_i}$$

式中 $Q_i$ 为褐煤演化到某煤级( $i$ )时所生气体的总体积,  $m^3$ ;  $W_i$ 为试验后进入某煤级煤的重量。

若把 $\frac{W_i}{W_b}$ 称作残煤率 $r_i$ , 视煤气发生率也可写作 $R_a = R_i r_i^{-1}$ 。

**煤产气率** 由泥炭演化成1t 某煤级煤所生成的气体总体积, 以 $R_g$ 表示。

$$R_g = \frac{Q_i}{W_i}, \quad m^3/t$$

式中 $Q_i$ 为泥炭演化到某煤级( $i$ )时所生气体的总体积,  $m^3$ 。

前苏联B. B. 科兹洛夫和中国石油工业部关德师等试验所得视煤气发生率列于下表。

模拟试验视煤气发生率( $m^3/t$  值)表

| 试验人        | 长烟煤<br>(0.6~0.85)* | 气煤<br>(0.42~0.50)* | 肥煤<br>(0.50~0.75)* | 焦煤<br>(0.75~0.90)* | 瘦煤<br>(0.70~0.90)* | 贫煤<br>(0.80~0.95)* | 无烟煤<br>(0.95~1.00)* |
|------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| B. B. 科兹洛夫 | 100                | 140                | 110                | 200                | 210                | 260                | 350                 |
| 关德师等       | 4~11               | 9~58               | 28~100             | 40~120             | 60~220             | 110~320            | 160~290             |

\* 括号中数据为干燥残余物重量。



数字上的差别与所试验煤样和试验方法差异有关。对于用人工模拟法求出煤气发生率,并以此代表地质历史中煤在天然演化中所生气量的方法,有些人表示怀疑。因为,褐煤在加压、加温试验后得到的并不是某一煤级的煤,只是其反射率相当于某煤级的干馏残余物而已。

**判识** 在找到了天然气矿床或遇到天然气显示时需要回答气源问题,即它是煤成气还是石油气,是生物气还是混合气。早期常用湿度系数予以判识。

$$C_{2+}(\%) = \frac{\sum C_2 \sim C_5}{\sum C_1 \sim C_5} \times 100\%$$

由于  $C_5$  很少,也可以用下式替代

$$C_{2+}(\%) = \frac{\sum C_2 \sim C_4}{\sum C_1 \sim C_4} \times 100\%$$

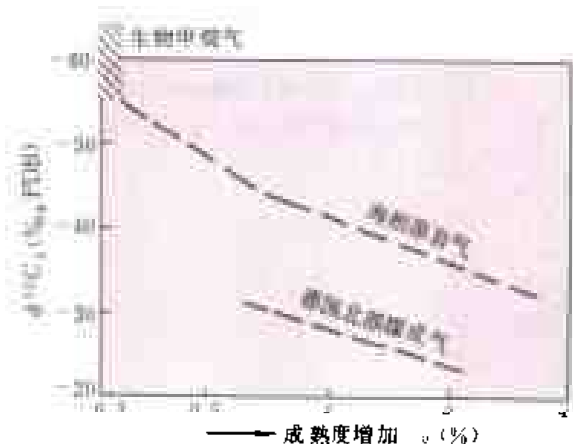


图3 天然气  $\delta C-R$  参数判识图  
(据 E. Stahl 等, 1981)

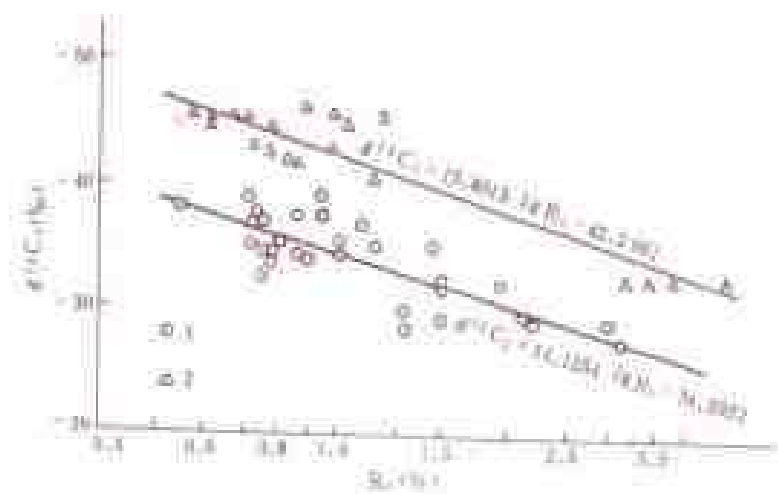


图4 中国煤成气和油型气  $\delta^{13}C_1-R$  关系图  
1—煤成气及其回归线; 2—油型气及其回归线  
(据中国石油勘探开发科学院)

若天然气中  $C_{2+}$  (%) 大于或等于 5%, 称湿气; 若天然气中  $C_{2+}$  (%) 小于 5%, 则称干气。人们一度把煤成气列为干气。随着研究的深入开展, 人们察觉天然气成分受母质类型和成熟度控制, 它们在碳同位素组成上有差别。E. 斯塔赫 (E. Stahl) 根据德国资料把天然气划分为生物气、油成气和煤成气三类, 它们的稳定碳同位素偏差值分别为: 生物气  $\delta^{13}C_1 < -55\%$ ; 油成气  $-32\% \sim -55\%$ ; 煤成气  $-23\% \sim -31\%$  (图 3)。

中国煤成气的判识工作已进入多种指标综合判识阶段。采用判识指标包括天然气中烃类气体组分特征, 天然气中非烃类气体含量, 天然气中碳、氢、氮的同位素, 天然气中稀有气体同位素等。其中, 以碳、氢同位素应用最广。中国石油勘探开发科学院根据大量分析资料提出中国煤成气和油型气  $\delta^{13}C_1-R$  关系识别图 (图 4)。

中国地质矿产部认为, 天然气的  $\delta^{13}C_1$  值可用来判别成气作用的差异, 而  $\delta^{13}C_2$  值可用来判别母质类型差异, 因此根据国内外资料提出了  $\delta^{13}C_1-\delta^{13}C_2$  天然气类型判识图 (图 5)。图中以  $\delta^{13}C_1$  的  $-55\%$  和  $\delta^{13}C_2$  的  $-29\%$  两条线为界, 把天然气分成油型气、煤成气、腐泥型生物气和腐植型生物气四类。

**成藏条件** 煤成气成藏条件和油成气相似, ①要求有丰富的生气源岩煤和碳质页岩, 它们在成煤作用中能产生大量的煤成气; ②要求有孔渗性好的储层; ③储层之上要有低透气性的盖层; ④气源岩与储层之间应有孔隙、裂隙和断层沟通, 使煤化作用期间产生的气体进入储层; ⑤储层还需有良好的圈闭构造, 把储层内的气体封存起来。穹窿、背斜构造, 断块背斜, 地层不整合面下圈闭, 岩相变化圈闭等。

**中国主要煤成气田** 包括四川中坝气田、中原油田文留沙四气藏、唐山王家河气藏等。

**四川中坝气田** 位于四川盆地西部的汇油。背斜圈闭。生气层是须家河组含煤段, 储气层为须家河二段砂岩, 盖层为须家河三段的泥岩, 探明储量  $145\text{Gm}^3$  (图 6)。

**中原油田文留沙四气藏** 位于河南山东交界处, 属于断块背斜气藏。第三纪沙河街四段砂岩是储气层, 沙三段的岩盐层是盖层, 深部的石炭二叠纪煤系是生气层 (图 7)。

**唐山王家河气藏** 位于唐山矿南的岭子背斜倾伏端。不整合在新生界地层之下,

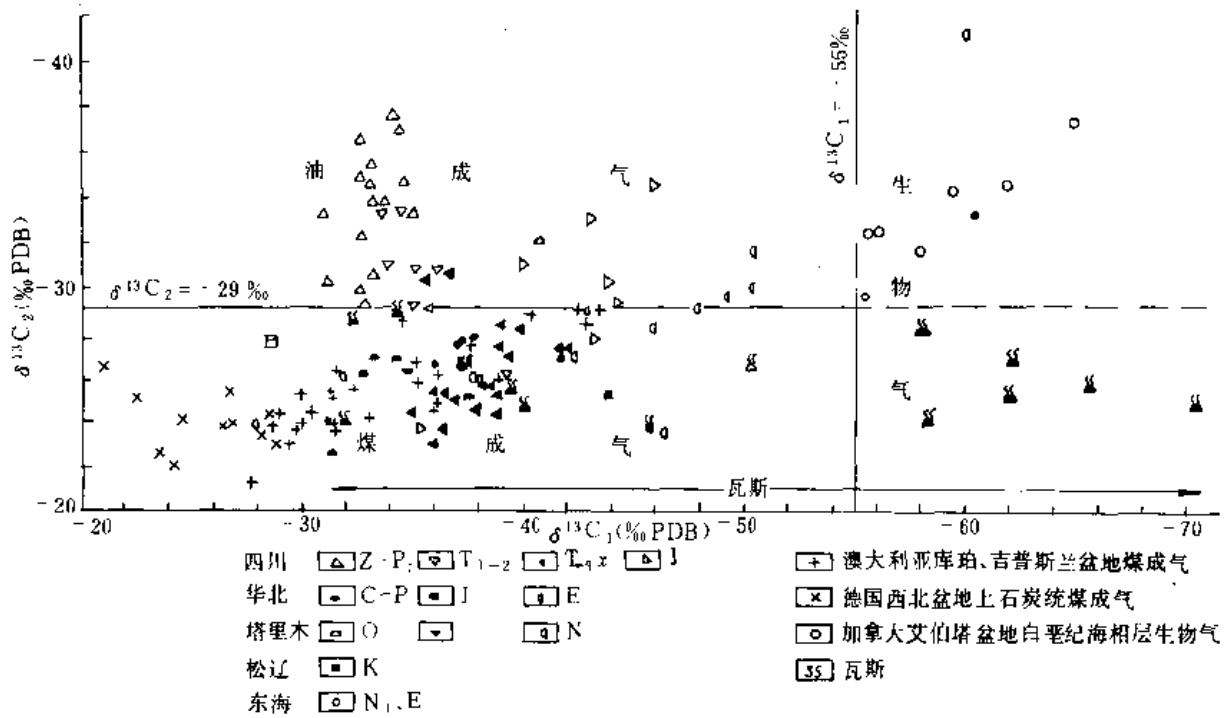


图5 天然气类型图  
(据地质矿产部石油地质研究所)

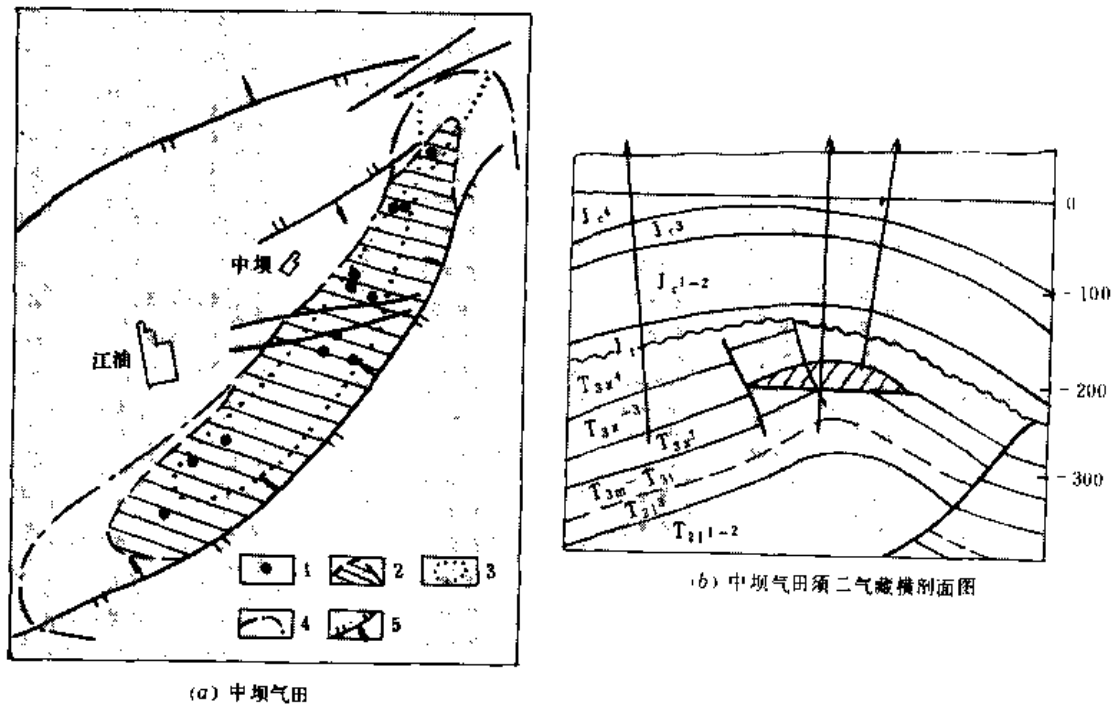


图6 中国四川中坝气田

I—工业气井；2—含气面积；3—须二顶今构造圈闭范围；4—印支古构造圈闭范围；5—印支古断层  
(据地质矿产部石油地质研究所)

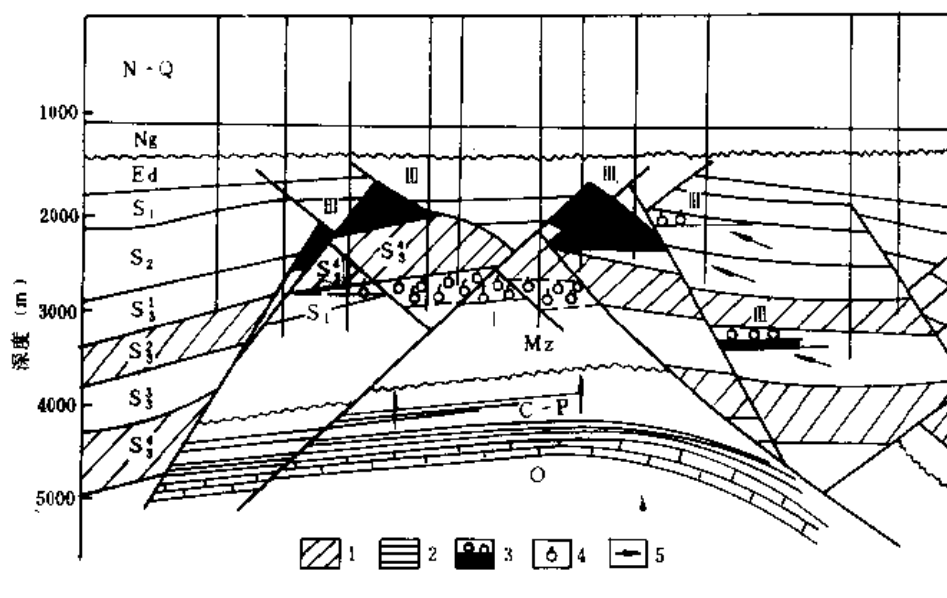


图7 中国东濮凹陷文留气藏横剖面

1—岩盐层；2—煤层；3—油气藏；4—气藏；5—聚气方向  
(据朱家慰、许化政, 1987)

在石炭二叠纪煤系之上的石盒子组砂岩中先后有五口井产气。其中两口井的初期产气量为  $9400 \sim 49000 \text{ m}^3/\text{d}$ 。经开发利用, 现日产气  $7000 \text{ m}^3$ 。据测定, 天然气成分和碳同位素值均与煤层内瓦斯相同, 证实气由煤层而来 (图8)。

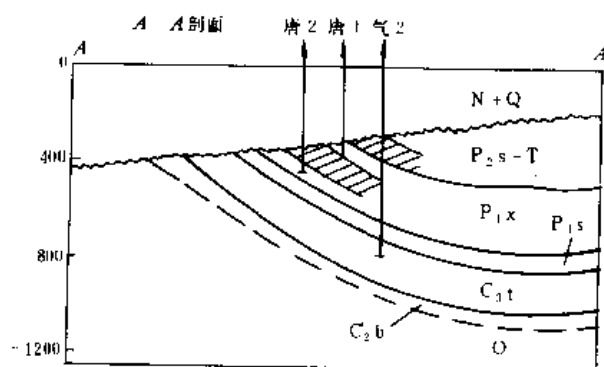


图8 中国唐山王家河气藏剖面图

(据傅家谟, 1990)

### 参考书目

《煤成气地质研究》编委会, 《煤成气地质研究》, 石油工业出版社, 1987。

傅家谟等, 《煤成烃地球化学》, 科学出版社, 1990。

李明朝等, 《中国主要煤田的浅层煤层气》, 科学出版社, 1990。

(陆国楨)

### meichengting

**煤成烃** (hydrocarbon from coal) 煤层和含煤岩系其它岩石中的有机质在煤化作用过程中生成的碳氢化合物。煤成烃分液态和气态两大类, 煤成液态烃称煤成油; 煤成气态烃称煤成气, 赋存在煤层中的煤成气称煤层气。

**研究概况** 20世纪40年代, 德国学者首先提出了含煤岩系有机质能生成天然气并可能形成气田的假说。五六十年代, 苏联和澳大利亚相继对含煤岩系开展资源评价, 认为它是好的气源岩。50年代末, 荷兰首先发现了与石炭纪含煤岩系有关的格罗宁根特大型气田。此后, 在亚洲、大洋洲和美洲一些煤盆地中, 又相继发现了许多类似的大气田。据研究表明, 世界上天然气储量中的70%~80%, 来自含煤岩系, 属于煤成气。70年代末, 苏联西西伯利亚盆地西北部和中欧盆地西部又发现了储量占当时世界天然气总储量近1/3的煤成气气藏。研究表明, 澳大利亚南部吉普斯兰盆地和加拿大西北部马更些三角洲油田、印度尼西亚的马哈卡姆三角洲油田的石油原油, 也主要来源于腐植型有机质, 属于煤成油。因此, 对煤成烃, 特别是对煤成气和煤成油的理论研究, 引起了各国的高度重视, 成为当今能源开发史上的重大事件, 具有重大的理论与实践意义, 对指导油气勘探具有深远的影响。

1978年, 中国也开展了全国性的煤成气专题性研究。1983年, 中国决定将煤成气开发研究正式列入国



家“六五”科技攻关项目。

目前,国内外学者在煤成烃研究领域取得的成果有,①确立了煤成气的基本理论和基本模式。②提出了有关判别煤成气类型的地球化学指标及气体的演化规律。③比较系统地研究了煤成油的可能性。④煤成油的地球化学研究有了一定进展。

**煤成气** (见煤成气)。

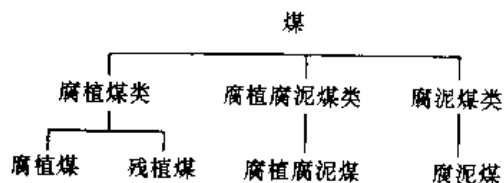
**煤成油** (见煤成油)。

**煤层气** (见煤层气)。

(张爱云)

mei chengyin leixing

**煤成因类型** (genetic types of coal) 根据煤原始植物和聚积环境划分的煤的类型。1920年由德国古植物学家H. 波托涅(H. Potonie)所创建。以后又经若干煤岩学者研究渐趋完整。它将煤划分成腐植煤类、腐泥煤类和腐植腐泥煤类三大类。腐植煤类指由高等植物遗体在泥炭沼泽环境经成煤作用所形成的煤。腐泥煤类指由低等植物及浮游生物遗体在湖沼、潟湖、海湾环境经成煤作用形成的煤。腐植腐泥煤类指由高等植物和低等植物遗体经成煤作用形成的具有过渡性质的煤,其化学性质和物理性质也介于腐植煤类和腐泥煤类之间。由于腐植煤类还可进一步分为腐植煤和残植煤,因而煤成因类型实际上是三大类及四种成因类型。每种成因类型的煤还可依据其特点进一步详细划分。自然界的煤绝大部分为腐植煤,其余各种成因类型的煤分布范围小,资源量极少。



(韩德馨)

meichengyou

**煤成油** (oil from coal) 煤层和含煤岩系其它岩石中的有机质在煤化作用过程中生成的液态烃(石油原油),其成分为多种烷烃、环烷烃和芳香烃的复杂混合物。它在特定的地质条件下可部分从煤层和含煤岩系烃源岩中排驱并储集成藏。

**世界煤成油工业油藏及油苗** 自20世纪50年代以来,在中国和澳大利亚、印度尼西亚、加拿大、尼日利亚等国,都有煤成油的油苗及工业油藏发现。①中国在五六十年代发现的鄂尔多斯盆地西缘石炭二叠纪鸳鸯湖油田,四川西部晚三叠世中坝油气田,柴达木盆地

侏罗纪冷湖油田,天山南、北侏罗纪齐古油田和伊奇克里克油田,吐鲁番盆地侏罗纪七克台油田和胜金台油田等,虽然规模都比较小,但都具有煤成油油苗。在东北地区侏罗纪、第三纪含煤岩系以及浙江长广煤矿,也都发现油气苗和重要线索。1989年以来,又在吐鲁番—哈密盆地发现了一批侏罗纪油气田,也见有煤成油油苗。②在澳大利亚南部吉普斯兰盆地晚白垩世至第三纪拉特罗布组含煤岩系中发现了30亿桶煤成油。据研究,其生油母质是由针叶植物所提供的角质体、孢子体、树脂体和木栓质体等富氢壳质组,原油含蜡量达8%~27%以上。③印度尼西亚马哈卡姆第三纪三角洲油田,其生油岩即系海岸平原沉积的煤和页岩;其生油母质为镜质组和稳定组。另外,库珀盆地侏罗纪含煤岩系也有煤成油发现。④加拿大西北部的马更些三角洲油田,其生油母质主要是树脂体,原油富含环状二萜类化合物和芳烃化合物,后者含量高达25%~60%。另外,从肯齐盆地也找到了煤成油工业油藏。⑤尼日利亚南部尼日尔三角洲油田油源岩亦为煤层及含煤岩系。

随着一系列煤成油工业油藏及油苗的发现,煤成油问题引起了世界各国的关注,普遍加强了对这一领域的理论研究,使煤成油资源的基础研究和勘探开发有了重大进展。

**组成特征** ①饱和烃含量高,非烃、沥青质含量低。②芳烃含量高,一般大于16%,最高可达40%~60%,高于腐泥型油源岩生成的石油原油。③含蜡量高。富含C<sub>27</sub>至C<sub>33</sub>含蜡组分。④含有很多姥鲛烷Pr,它与植烷Ph的比值Pr/Ph一般大于3,具有明显的姥鲛烷优势。⑤具有丰富的陆源二萜烷、倍半萜烷和陆源三萜烷。⑥稳定碳同位素<sup>13</sup>C相对富集。中国煤的δ<sup>13</sup>C值范围为-21.5‰~27.6‰,平均为-24.465‰。

**类型** 按组成特征,煤成油可划分为凝析油、低蜡原油和高蜡原油三类。

**凝析油** 主要由低分子烃类化合物组成,高分子量的甾萜类生物标志物含量甚低或难以检测。它为浅色轻质原油,经济价值很高。中国四川、华北、西北等地某些煤成气气田及油田的天然气中,均含凝析油。

**低蜡原油** 正烷烃含量低,芳烃含量较高,含氧、氮、硫杂原子的沥青组分的含量也低。加拿大马更些盆地的煤成油即为低蜡原油。

**高蜡原油** 含蜡量超过5%的原油,属于链烷烃石油。澳大利亚吉普斯兰盆地和印度尼西亚马哈卡姆三角洲的陆相原油,都具有高蜡性质。中国的原油常含高蜡。成熟度较低的原油,含有C<sub>27</sub>至C<sub>33</sub>蜡质组分,而成熟度高的原油,这一特征则不明显。

**生成机理** 包括油源岩、生油母质、生油地质热力条件等。

**油源岩** 又称生油岩，能生成并提供具有工业价值石油的岩石，包括富集富氢显微组分和热演化程度达到生油成熟度的煤和含煤岩系中的碳质岩。

**生油母质** 生成石油的原始质料，煤成油的生油母质主要是煤或碳质岩中的树脂体、角质体、孢子体、木栓质体、藻类体、富氢基质体等富氢稳定组及壳质组。其中所含显微组分的类别和数量，直接影响生油潜量和质量。①主要由高等植物的木质素、纤维素在弱氧化—还原条件下经凝胶化作用和生物地球化学作用转变而成的结构镜质体、均质镜质体、基质镜质体、镜屑体等镜质组显微组分组，含氢量较低，虽具生烃能力，但主要是煤成气的生气母质，而富氢的基质镜质体可成为生油母质。②主要由高等植物的壳皮、类酯、孢子花粉等转变而成的木栓质体、角质体、孢子体、树脂体、壳屑体以及煤化作用中次生的渗出体等稳定组显微组分组，富氢，生烃能力强，是煤成烃，特别是煤成油的重要生油母质；其中，渗出体是煤成烃和油气运移的标志之一。③主要由高等植物的木质素、纤维素在强氧化条件下经丝炭化作用转变而成的丝质体、粗粒体、微粒体、惰屑体等惰性组显微组分组，贫氢，富氧，富碳，生烃能力最差，且只能生成气态烃，是煤成气的生气母质。

**生油地质热力条件** 煤和含煤岩系中的有机质，在煤化作用过程中受温度、压力、时间三大作用因素的影响程度不同，对温度最为敏感（见煤化作用、镜质组反射率）。煤和煤系中有机质开始生油时所需的温度，称生油门限，又称门限温度；而大量生成并保存液态烃时的温度，则称液态窗。据普西（Pusey）研究，液态烃开始大量生成的温度是 150°F（65.6℃），低于这一温度时，有机质主要生成生物成因型天然气；当温度超过 300°F（148.9℃）时，已生成的液态烃将受到破坏，变成热裂解型天然气；只有 150～300°F（65.6～148.9℃）这个温度范围才符合有机质生油的热力条件。不同的生油母质，具有不同的生油门限和液态窗范围。一般，树脂体的生油门限低于角质体和孢子体的生油门限。

（张爱云）

meide fenlei

**煤的分类** (Coal classification) (见加工利用卷)。

meide huaxue gongyi xingzhi

**煤的化学工艺性质** (chemical property and techniques of coal) (见加工利用卷)。

mei de wuli xingzhi

**煤的物理性质** (physics property of coal) (见加工利用卷)。

mei dianjing yanjiu

**煤电镜研究** (electron microscopic investigation of coal) 电子显微镜，简称电镜，是 20 世纪 30 年代发展起来的电子光学仪器，是现代显微技术中分辨率很高，放大倍数很大的一种仪器。一些电镜配有能谱仪（EDS）和波谱仪（WDS），可进行物质成分的微区分析。因此，它在研究各种物质微观形态、结构和成分等方面有着重要作用。在研究煤、含煤岩系岩石和共生矿产方面，常用的是扫描显微镜和透射电子显微镜。1988 年研制成的隧道扫描电子显微镜（Scanning Tunneling Microscope，简称 STM），能获得样品表面原子分布的原子结构象，主要用于研究导体、半导体，也开始用于矿物的研究。

**扫描电子显微镜** (Scanning electron microscope, 简称 SEM) 简称扫描电镜。

**原理** 从阴极发射出的高压电子，经电磁透镜会聚成具有一定能量、强度和斑点直径的电子束，投射到样品表面，在扫描线圈磁场的作用下，在样品表面按一定时间、空间顺序逐点扫描，激发出各种信息，其中二次电子可用以表征样品表面的形态，利用二次电子图象可进行样品形态研究；而背散射电子既与样品中元素的平均原子序数大小有关，亦与样品表面形态有关，背散射电子图象可粗略地确定样品中平均原子序数的大小；样品中某一元素的原子受到加速电子的轰击时，其内层电子被激发，外层电子跃迁到内层时会辐射出特征 X—射线，各种元素所产生的 X—射线的能量、波长不同，用能谱仪（EDS）测量各种特征 X—射线的能量和强度，用波谱仪（WDS）测量各种特征 X—射线的波长和强度，即可进行样品元素成分的定性和定量分析。

与光学显微镜相比，扫描电镜的优点是分辨率高达 10nm；聚焦景深大，能获得立体感强的图象；放大倍率范围广，连续可调；当配置能谱仪、波谱仪时，可同步进行元素成分分析。

能谱仪检测元素范围一般为  $^{11}\text{Na}$ — $^{92}\text{U}$ ，新型能谱仪检测元素范围与波谱仪相同，为  $^4\text{Be}$ — $^{92}\text{U}$ 。能谱分析

法的主要优点是分析速度快,在数分钟内可同时显示试样中的全部元素的特征X—射线能谱,因而应用较多。但其分辨率低,有些相近谱线不易分开。波谱分析法每次仅能测定一种元素,但其分辨率比能谱仪高10多倍,峰背比高。

**主要研究方向** ①成煤植物(茎干、叶、孢粉、菌藻等)及煤系中有孔虫、介形虫、叶肢介、牙形石等微体化石研究。②煤中伴生微粒矿物、粘土矿物等矿物成分的测定,矿物晶形、结构、表面形态及矿物共生组合的研究。③微孔隙与微裂隙大小、类型、成因的研究,用于解决瓦斯地质、油气储集和运移、矿井地质诸方面的问题。④煤中显微组分和矿物的伴生元素研究,用于总结煤中有害元素、有益元素的赋存规律,分析聚煤环境、环境地质等方面。⑤研究焦化、燃烧、液化、选煤等工业用煤、化工原料煤及各级加工产品。

**分析样品的准备** 一般用块煤光片,大小不超过 $30\times 20\text{mm}^2$ ,厚度小于10mm,底面平整,保持样品表面洁净和干燥。由于煤样不导电,常用碳作喷镀材料形成导电层。预先在偏光反光显微镜下选好分析位置,照相记录或详细素描分析微区组成特征,用钢针等圈定分析范围。

**透射电子显微镜** (Transmission Electron Microscope, 简称TEM) 简称透射电镜。

**原理** 利用高能电子束经聚光镜会聚成亮度较大,束斑较小的电子束,投射到样品,样品中的元素使电子散射,散射的衬度主要与元素的原子序数、样品厚度和物质密度有关,散射电子由物镜聚焦成象放大后投射于荧光屏成图象供分析。

透射电镜按其性能可分为高分辨型透射电镜和分析型透射电镜两类。高分辨型透射电镜放大倍数可达160万倍以上,一般点分辨率可达0.3nm,晶格分辨率可达0.1~0.2nm,配有选区电子衍射装置(SAD),可测定晶体结构参数,进行晶体取向等。分析型透射电镜,还配置有能谱仪或波谱仪,可同步进行微区元素成分分析。

**主要研究方向** ①煤和烃源岩显微组分的起源和成因。煤是非晶态物质,芳香度低的显微组分电子散射能力弱而透射电子能力强;芳香度高的显微组分则相反。在透射电子图象中,依据散射衬度和形态可确定显微组分的归属。国际上应用透射电镜证实了爱沙尼亚志留纪油页岩是由葡萄藻属群体及其降解产物组成(格立克逊等, Glikson et al., 1989); F.B. 泰勒等(F.B. Taylor et al., 1988)研究表明,微粒体是由微米级和亚微米级圆粒所组成的集合体,在亚烟煤中已有粒径为50nm的微粒存在,随着煤级增高,微粒体的

数量和密度增大,以至可见于光学显微镜。中国低煤级烟煤的富氢镜质体中超微类脂体发育,推测来源于菌藻类降解产物;第三纪腐泥煤、油页岩中沥青质体具几十纳米厚的超细纹层,与层状藻类体相似(王飞宇等, 1992)。②煤的超微孔隙研究。镜质体孔隙小,大多为2~20nm,可连成网状,透气性高;惰质体孔隙大,多为40~50nm;孢子体孔隙率小,仅有少量管状及不规则的空隙。③煤中矿物鉴定。煤中高岭石呈假六方形,蒙皂石呈棉絮状集合体,埃洛石呈中空的管状,累托石呈特征的丝带状。④煤和烃源岩显微组分超微结构的研究。应用高分辨型透射电镜的透射电子束和衍射电子束的相干光束和空间频率滤波成像技术,可获得煤和烃源岩显微组分“分子”内芳环层的晶格图象(latic image);奥别林等(Oberlin et al., 1975, 1978, 1981)研究表明,在低煤级烟煤中,由两三个平行的芳环层涡层状叠片构成基本结构单元(basic structure unite, 简称BSU),无序散布;随着煤级增高,芳环层内间距缩小,在高煤级烟煤和半无烟煤的分界点( $R_{\text{O,max}}$ 为1.8%~2.0%)上,突然出现分子排列局部分定向(local molecular orientation, 简称LMO),小的芳香叠片聚合成大小为5~10nm的芳族稠环,仍呈涡层状;到高阶无烟煤阶段,两三个芳香碳层的小叠片(<1nm)大致相平行,群集成不超过5~10nm的群体,大部分与层面平行,扁平的微孔发育。

#### 参考书目

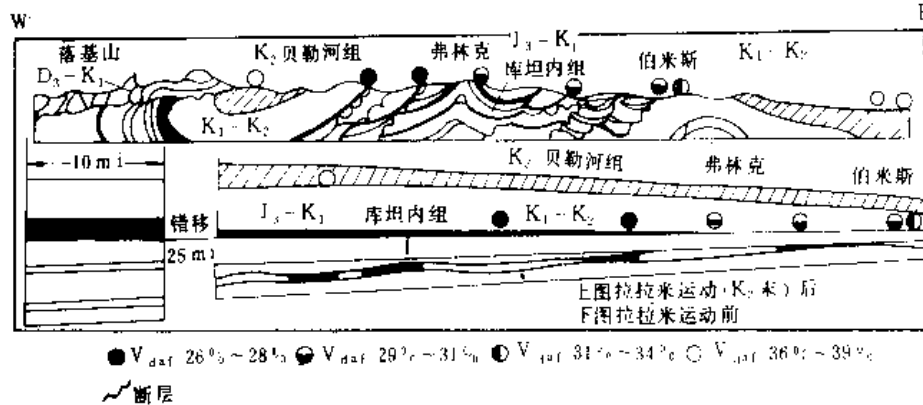
周剑雄,《矿物微区分析概论》,科学出版社,1980。

(任德贻)

mei dongli bianzhi zuoyong

**煤动力变质作用** (dynamic metamorphism of coal)

由于构造运动促使煤发生变质的作用。构造运动是指含煤岩系形成后的构造变动。自从D. 怀特(D. White, 1935)以动力变质解释美国阿帕拉契煤田的煤变质分带之后,形成了地质构造越复杂、构造变动次数越多、煤的变质程度就越高的观点。但是,随后的工作表明,作为动力变质典型实例的阿帕拉契煤田以及德国鲁尔煤田和俄罗斯乌拉尔煤田的煤变质,都是以煤深成变质作用为主或煤深成变质后又受到岩浆侵入的结果,动力变质即使存在,也是次要和局部的。加拿大落基山地区的中生代煤,过去曾作为动力变质典型实例之一。但后经研究证明其实不然,下页图中的上部反映落基山从东向西构造变动逐渐加强,煤的变质程度也逐步增高,似乎是动力变质的结果;图中的下部是中生代含煤岩系,包括晚侏罗世早白垩世含煤岩系、早中白垩世含煤岩系以及上覆上白垩统的复原图,表



加拿大落基山地区煤级变化与构造运动无关示意图

(据 P. A. Hacquebard 等, 1974)

明它们由东向西逐渐增厚, 并反映了由于逆掩断层造成的 40.2km 的总断移距离。显然, 煤变质程度由东向西加深是由于从晚侏罗世到晚白垩世的沉积由东向西逐渐增厚, 在白垩纪末拉拉米运动之前由于煤经受了深成变质作用的结果, 而非受逆掩断层的影响。

构造运动对煤的结构和物理性质产生影响, 使煤的水分减少、密度加大、光学各向异性增强, 在高变质阶段导致石墨晶格的生成, 但这些主要在强烈构造变动带才有所表现。多数人认为, 动力变质作用应主要指由于构造运动在使煤、岩层压缩过程中生成的大量摩擦热促使煤发生的变质, 应称为“煤动力热变质作用”。因而, 只有在构造运动强烈而且煤、岩层的热传导性又较差的条件下, 才会产生“煤动力热变质”。地震时, 沿活动断裂带有大量的摩擦热产生, 也有可能使煤层发生动力热变质。北美阿帕拉契大逆掩断层水平推移达 100 多公里, 断裂带附近的地温升高 50℃。但这样形成的煤变质带, 往往只限于沿强烈活动断裂带的两侧, 呈窄条带状分布, 范围很小。

#### 参考书目

武汉地质学院煤田教研室, 《煤田地质学》上册, 地质出版社, 1979。

(杨 起)

mei fenghua zuoyong

**煤风化作用** (weathering of coal) 处于地表或地表附近的煤层, 在大气、水和生物等外力的长期联合作用下, 使煤的物理性质、化学性质及工艺性质发生的一系列破坏性变化。其强度由地表向下逐渐减弱, 直至停止。煤风化作用是一个长期、缓慢和逐步加深的复杂过程。

**煤风化作用类型** 根据性质的不同, 煤风化作用分为物理风化、化学风化和生物风化等三种主要类型。

**物理风化作用** 由于大气温度的变化以及煤中孔隙、裂隙水的反复冻结与融化而使煤发生的颜色变浅, 硬度及强度变弱, 裂隙增多、增大, 结构变松, 甚至完全破碎成粉末等物理性质变化和机械破坏。其影响深度有限。

**化学风化作用** 由于受大气和水中各种化学物质的影响, 使煤的化学组成及工艺性质发生的变化和破坏。其影响深度较大。

**生物风化作用** 由于受生物活动的影响, 使煤的物理性质和化学性质发生的变化和破坏。

**煤风化作用过程** 煤风化过程分为吸氧、次生腐植酸生成和有机物氧化分解等三个阶段。

**吸氧阶段** 煤中有机质大分子结构单元侧链上的活性基团, 吸附大气中的氧, 在煤的表面形成煤氧络合物, 使煤的重量增大、吸湿性增强。

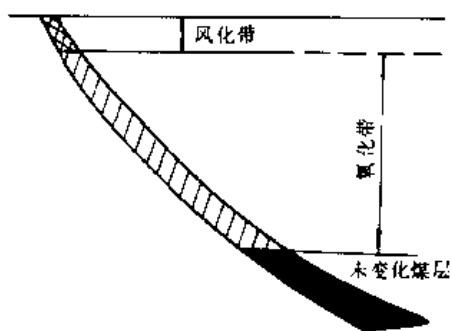
**次生腐植酸生成阶段** 煤氧络合物分解, 放出二氧化碳、一氧化碳、水和热量。同时, 由稠环和侧链组成的煤分子氧化生成腐植酸。随着风化程度的加深, 次生腐植酸的含量不断增加。煤的结构变得疏松, 增大了与大气、水等的反应面, 为加快风化速度和加大风化深度提供了条件。

**有机物氧化分解阶段** 随着次生腐植酸的进一步氧化分解, 煤中有机物含量明显降低, 直至全部消失, 只剩下煤中矿物风化后的残留物。

有机质氧化生成的腐植酸、二氧化碳等酸性物质, 可使煤中矿物水解, 生成硅酸、铝硅酸、磷酸等, 与金属离子形成有机盐类络合物, 当钙离子丰富时, 则可生

成方解石。煤中的黄铁矿和白铁矿氧化成硫酸和硫酸铁,且与周围的钙、铝矿物作用,形成石膏、明矾等新矿物。在有大量有机质分解而造成的还原环境下,硫酸铁可再次被还原,生成次生黄铁矿。因此,在煤层露头及其附近常见有含铁明矾的白色粉末(称煤堍),受氢氧化物污染的次生腐植酸褐色粉末(称煤华)分布。煤堍、煤华都是重要的找煤标志。

**煤层的风化带和氧化带** 煤层遭受风化作用地带的总称。根据受风化作用影响的不同程度,分为风化带和氧化带(下图)。



煤层风化带、氧化带示意图

**风化带** 煤层露头附近由于风化作用使煤的物理、化学性质发生显著变化的地带。因煤中有机质分解逸散或被水溶解带走,致使风化带煤层厚度显著变薄,在地表露头处甚至尖灭成煤线。

风化带可根据煤的物理、化学、工艺性质确定。风化带的煤称风化煤,其特点是颜色变浅,硬度及力学强度变弱,结构松散,甚至完全变成粉末状;挥发分、水分和氧含量增高,碳、氢含量和粘结性、焦油产率、发热量降低,失去燃烧价值,地质勘探时不计算其储量。当风化煤中次生腐植酸含量超过20%时,应适当取样并估算其腐植酸储量。

**氧化带** 煤层风化带以下,因风化作用,煤的物理、化学性质虽未明显变化,但煤的化学工艺性质已发生明显变化的地带。亦有人将此地带划为次风化带,而将风化带与次风化带全称氧化带。氧化带的深度,往往通过沿煤层倾向由浅而深系统采取煤样(包括钻孔煤心煤样和煤层煤样),经测试而确定。氧化带的煤称氧化煤,它可作动力煤用,但因其化学工艺性质已发生变化,粘结性降低或丧失,故而不能炼焦。

**煤风化作用的影响因素** 煤风化作用受煤的成分和性质、煤层的埋藏条件、地表侵蚀速度、气候条件等因素的制约。

**煤的成分和性质** 腐植煤较残植煤和腐泥煤易风

化;低变质煤较高变质煤易风化;镜煤和亮煤较丝炭和暗煤易风化,但在低温条件下丝炭能吸附大量的氧并放出热量而加速风化作用。此外,煤的结构、裂隙发育程度、水分和煤中黄铁矿的含量等,对煤风化作用也有一定的影响。

**煤层的埋藏条件** 煤层产状、围岩成分和性质、夹矸厚度和性质以及上覆盖层的厚度和性质等因素都影响煤层与大气和水的接触条件,从而对煤风化作用进行制约。

**地表侵蚀速度** 地表侵蚀速度越快,地形切割越陡,煤层氧化带越浅;反之,则氧化带越深。

**气候条件** 温湿气候有利于化学风化的进行,风化深度大;干燥气候则多以物理风化为主,风化深度小;大气温差越大,物理风化越强;大气降水影响潜水面位置和渗滤水的含量及性质。

**构造条件** 因构造裂隙导入水、气而促使煤体发生风化、氧化。这种风化作用往往可达地下较深部位,但范围比较局限。

(童元真)

meihe

**煤核** (coal ball) 煤层中保存有植物化石的结核(下页图,参见彩色插页第31页,第32页)。

**形态** 煤核有球状、饼状、杆状及透镜状等,平面直径由1cm至数米不等,以5~30cm者居多。其表面常被黑色或黑褐色光亮的煤皮包裹,内部一般呈棕褐色或淡褐色。它们除主要赋存于煤层中外,有时也赋存于煤层的顶、底板内,通常呈孤立、分散状产出,有时则多而密集,联结成层状或块状,并使其轮廓不清。

**成分** 煤核矿物成分以高岭石、方解石、白云石、铁白云石为主,并含黄铁矿、白铁矿、菱铁矿、蛋白石、玉髓等。其化学成分以含钙镁的碳酸盐类为主,有时为二氧化硅、硅铝酸盐、硫化铁或硫化钙。

**成因** 目前存在四种不同认识。

(1) 泥炭形成后遭受海侵,因上覆海相沉积中钙、镁等离子随水下渗,导致泥炭层中部分植物组织发生矿化而逐渐形成煤核。

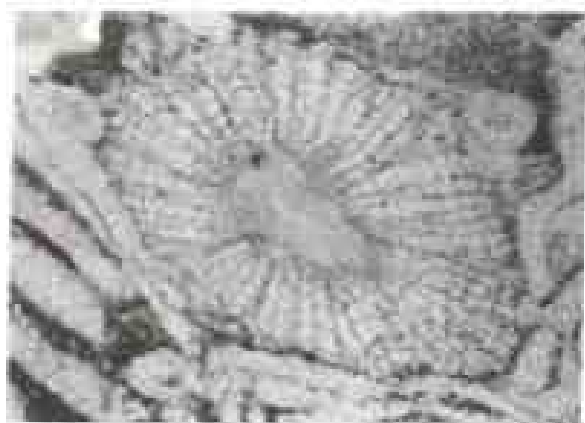
(2) 泥炭埋藏较深时,因缺氧而使植物遭受原泥炭沼泽矿化水的作用而矿化,逐渐演变成煤核。

(3) 在泥炭沼泽发育过程中,因涨潮或风暴将海水灌入,致使植物矿化和形成煤核。

(4) 以海生菌藻类为主的煤的原始质料,在还原环境下经海水滚动而形成黄铁矿或白铁矿质煤核。

**研究意义** 由于被矿化的植物组织与器官通常保存较好,可通过深入研究其细胞结构等,获取清晰细致





(a)



(b)

山西太原西山7号煤层结核中的植物化石  
a—*Stigmaria* (根托) 及其周围的鳞木类植物细根;  
b—*Pecopteris* (栉羊齿) 实羽片上的原位聚合孢子囊  
的实际材料, 为恢复植物的原有生态面貌提供证据。  
(田宝霖)

### meihua zuoyong

**煤化作用 (coalification)** 泥炭转变为褐煤、烟煤、无烟煤、超无烟煤的物理化学变化。煤化作用分为煤成岩作用和煤变质作用两个阶段。

**煤成岩作用** 泥炭、腐泥被掩埋后, 在地温和上覆压力作用下经压实、脱水、固结, 腐植酸向腐植质转变而成褐煤的过程。先形成软褐煤, 土状、褐色、暗淡无光泽, 逐渐转变为硬褐煤, 暗褐色到黑色, 出现光泽。

**煤变质作用** 褐煤在相对较高的温度、压力下经过物理化学作用转变为烟煤、无烟煤、超无烟煤的过程。

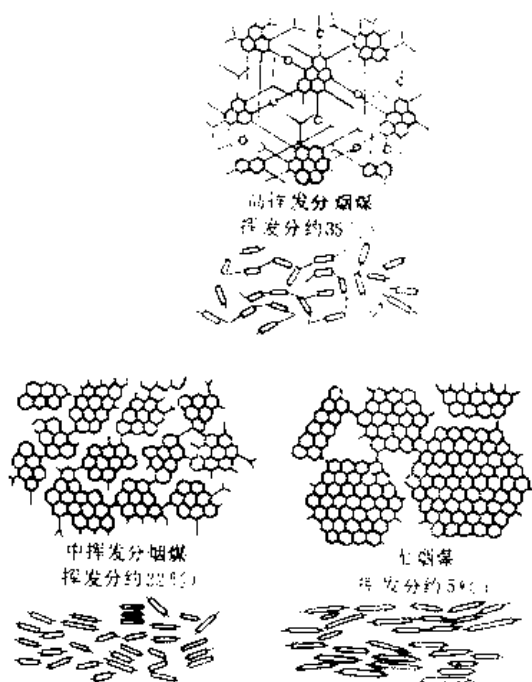
泥炭被其它沉积物覆盖后, 在温度、压力的长时间作用下, 逐渐转变为褐煤、烟煤、无烟煤和超无烟煤, 形成了腐植煤系列。它是一个煤化程度(指煤化作用深浅程度, 即煤级)逐渐增高的过程, 煤中碳含量和镜质组反射率随煤化程度的加深而增高, 氢、氧和挥发分含量则逐渐减少。在类似的条件下, 腐泥逐渐转变为腐泥褐煤、腐泥烟煤、腐泥无烟煤以至超无烟煤, 形成了腐泥煤系列。其变化的过程与腐植煤相似。

**煤化作用因素** 促使煤化作用进行的主导因素, 主要是温度、压力和时间。温度增高能促进煤的化学反应, 压力加大能使煤的物理结构发生变化, 时间因素的作用体现在温度持续时间的长短上。其中, 温度因素最重要。作用于煤的温度越高、持续的时间越长, 则煤的煤化程度越高。煤化程度是温度和受热持续时间的函数。与温度、时间和压力都有关系的概念——煤化作用平衡 (coalification equilibrium), 是指煤在这三种因素作用下达到了与其埋深相适应的煤级。倘若沉降速度过快, 就会形成超压地带, 其热流值低于同深度的常压地带, 亦即在同一深度处, 超压地带的温度低于常压地带。因此, 处于超压带的煤要达到与所处深度相适应的煤级, 需要更长的受热时间。

作为有机质, 煤与成煤植物对温度的反应较无机物灵敏, 在温度和压力相同的条件下, 煤与成煤植物比无机质围岩的变化要深刻得多。通过煤的成岩作用形成褐煤时, 其围岩通常还只是未完全固结的泥质和碎屑沉积物; 通过煤的变质作用形成烟煤和无烟煤时, 围岩仍多处于成岩阶段。

多数人将煤的成岩作用和变质作用的界线划在褐煤与烟煤之间, 镜质组平均反射率  $R_{0,m}$  为 0.5%~0.6%。主要根据是褐煤含腐植酸, 而在长焰煤阶段腐植酸已均转变为腐植质。但也有人将两者的界线划在软褐煤与硬褐煤之间, 根据是软褐煤与硬褐煤在物理、化学性质上已有较明显的差异, 特别是到硬褐煤阶段已开始有沥青化作用。

**煤化作用机理** 随着煤化作用的加深, 煤中有机质分子缩合成更大的芳香结构。成煤植物在以生物降解作用 (高分子化合物在生物作用下分子量降低的现象) 为主的泥炭阶段形成腐植酸; 硬褐煤阶段, 腐植酸在温度、压力作用下, 其羟基 ( $-OH$ )、羧基 ( $-COOH$ )、甲氧基 ( $-OCH_3$ ) 和羰基 ( $>C=O$ ) 等官能团逐渐脱落, 转变为腐植质, 颜色也由褐转黑, 开始显示光泽; 褐煤阶段, 煤的芳环层还很小且随机分布, 由大量富氮官能团、富氧桥以及脂肪族侧链支撑和联结着 (下页图)。随着煤化程度的加深, 更多的官能团脱落, 侧链更加缩短, 同时芳环层加大并趋向有序化排



微镜煤在烟煤与无烟煤煤化阶段的分子结构变化图

(据 M. & R. Teichmüller, 1968)

列, 镜质组反射率也随之增高。

**煤化作用跃变** 煤化作用不是线性均匀演变而是跳跃性变化的。当镜质组最大反射率  $R_{o,max}$  接近 0.5% 阶段, 脂肪族、脂环族和侧链开始从富氢镜质体和壳质组脱落, 生成沥青质, 表征着煤的沥青化作用的开始。有时, 在低煤化程度煤的镜质组裂隙和微孔中所见弱反射、强荧光的次生显微组分渗出沥青体, 就是沥青化作用的产物。沥青化作用的开始, 代表着煤化作用的第一次跃变。它与石油开始形成阶段相当。煤化作用进行到镜质组最大反射率  $R_{o,max}$  约为 1.3% 时, 以生成液态烃为主的沥青化作用转变为以裂化反应为主, 已经形成的沥青被裂化为小分子气态烃, 生成大量非芳香组分的挥发分, 这代表着煤化作用的第二次跃变。它与石油的“消亡线”和湿气开始大量生成阶段相当。

煤化作用进行到镜质组最大反射率  $R_{o,max}$  为 2.0% 的贫煤阶段, 由形成湿气转为生成干气, 煤的分子结构单元出现方向性, 开始作有序化排列。到无烟煤阶段, 芳香叠片已接近平行排列, 镜质组反射率具有明显的各向异性。这一明显变化代表着煤化作用第三次跃变。及至演化到超无烟煤阶段, 镜质组最大反射率  $R_{o,max}$  仍在继续增高, 而镜质组最小反射率  $R_{o,min}$  却由增高转为减低, 煤的各向异性更加显著, 这代表着煤化作用的第四次跃变。煤化作用第三和第四次跃变都以

生成甲烷的方式逸出大量氢为特征。

煤化作用研究日益广泛地应用于解决其它地质问题。由于煤化作用和石油形成都主要取决于经受的温度及其持续时间, 油气的每一个发育阶段都能通过对沉积岩中镜煤包体反射率的测定, 在寻找和勘探过程中对油气田做出评价; 煤级(煤化程度)测定有助于解决地层问题与构造问题, 如根据煤级重复出现由低增高的剖面, 确定推覆构造; 通过煤级等值线与煤层的关系, 分析构造发展的过程, 确定构造的性质; 由于煤对温度升高很灵敏, 因而测定其镜质组反射率能够将沉积盆地的受热和构造变动的信息记录下来, 再利用一些钻孔的煤化作用剖面 and 据以编绘的煤化作用图, 就能够重建盆地的轮廓、构造史和受热史等。

### 参考书目

E. Stach et al., Textbook of coal petrology, 3rd Edition, Gebrüder Borntraeger, Berlin. Stuttgart, 1982.

武汉地质学院煤田教研室,《煤田地质学》上册,地质出版社,1979。

杨超、韩德馨等,《中国煤田地质学》上册,煤炭工业出版社,1979。

(杨超)

mei ji

**煤级** (coal rank) 又称“煤阶”, 煤化作用深浅程度的等级, 也用以表示煤变质程度。1926年, D. 怀特(D. White)首次用它来表示固体燃料矿产在泥炭—无烟煤系列中所处的位置, 以干燥无灰基的碳含量  $C'$  ( $\sim C_{ad}$ ) 表示。1957年, 得到国际煤岩学委员会出版的《国际煤岩学手册》(International Handbook of Coal Petrology) 正式采用。煤级的测定, 借助于那些在煤化过程中变化明显而且有一定规律性的物理、化学和工艺性质, 即煤级参数或煤化(程度)参数, 也称作煤变质(程度)参数。煤中水分和发热量, 在包括褐煤的低煤化阶段变化明显而又规律, 适于作为低煤级煤的煤级参数; 在无烟煤和超无烟煤阶段, X-射线衍射曲线呈现出两个较明显的衍射峰, 水分和氢含量呈明显的变化, 它们可作为用于确定无烟煤和超无烟煤阶段的煤级参数; 而碳含量除了在软褐煤到硬褐煤阶段和肥煤到贫煤阶段以外, 都可作为其它各阶段的煤级参数。显然, 上述参数只适用于煤化作用的部分阶段, 都不是理想的煤级参数(下页表)。

**镜质组反射率与挥发分参数** 镜质组反射率值决定于芳香环的缩合程度; 而挥发分则基本上代表非芳香馏分。在煤化过程中, 芳香环缩合程度加大, 增长为更大的结构单元; 而非芳香馏分则逐渐减少, 导致挥发

### 煤化作用过程中煤级参数变化表

| 煤级   |        | 反射率                |                  |                    | 微镜煤中的含量          |                  |                  | 各种煤级参数的适用性   |   |
|------|--------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|--|---|
| 德国   | 美国     | $R_{o,max}$<br>(%) | $R_{o,m}$<br>(%) | $R_{o,min}$<br>(%) | $C_{daf}$<br>(%) | $H_{daf}$<br>(%) | $V_{daf}$<br>(%) |  |   |
| 肥煤   | 中挥发分烟煤 | 1.4                | 1.3              |                    | 87               | 5.5              | 28               | $C_{daf}$<br>$H_{daf}$<br>$P_{daf}$<br><br>$R_{min}$ |   |
|      |        | 1.6                | 1.5              |                    |                  |                  | 22               |  |   |
| 瘦煤   | 低挥发分烟煤 | 1.8                | 1.65             |                    | 89               |                  | 19               |  |   |
|      |        | 2.0                | 1.85             | 1.1~1.8            |                  |                  | 14               |  |   |
| 贫煤   | 半无烟煤   | 2.2                | 2.0              |                    |                  |                  | 12               |  |   |
|      |        | 2.4                | 2.2              |                    |                  |                  | 10               |  |   |
|      |        | 2.6                | 2.35             |                    |                  |                  |                  |  |   |
|      |        | 2.8                | 2.5              | 1.5~2.4            | 91               | 4                | 8                |  |   |
| 无烟煤  | 无烟煤    | 3.0                | 2.7              |                    |                  |                  |                  |  | $R_{max}$<br><br>$R_{min}$<br><br>$R_{max}-R_{min}$ 和 $R_{max}$ , $R_{min}$<br><br>$X$ -射线与电子衍射 |
|      |        | 3.2                | 2.9              |                    |                  |                  | 6                |  |   |
|      |        | 3.4                | 3.0              |                    |                  |                  |                  |  |   |
|      |        | 3.6                | 3.2              |                    |                  |                  | 5                |  |   |
|      |        | 3.8                | 3.35             |                    |                  |                  |                  |  |   |
|      |        | 4.0                | 3.5              | 1.8~3.3            | 93.5             | 2.5              | 4                |  |   |
| 超无烟煤 |        | 5.0                | 4.35             | 1.7~4.1            |                  |                  | 3                |  |   |
|      |        | 6.0                | 5.1              | 1.0~4.5            | 95.0             | 1.5              | 2                |  |   |
| 半石墨  | 超无烟煤   | 5~10               |                  |                    | 96.5             | 0.8              | 1.25             |  |   |
|      |        | 10~18              |                  |                    | 100              | 0                | 0                |  |   |
| 石墨   | 石墨     |                    |                  |                    |                  |                  |                  |  |   |

(据 M. & R. Teichmüller, Bartenstein, 1979 改编)

分降低而镜质组反射率相应地增高。由于镜质组反射率和挥发分都与镜质组结构单元的芳构化程度有关,因而镜质组反射率的增高和挥发分的降低,在变化程度上几乎是相同的(McCartney等,1972)。挥发分在气肥煤到贫煤阶段是良好的煤化(程度)参数。气肥煤阶段之前,煤中析出的气体主要不是脂肪基团和脂环基团,而是 $\text{CO}_2$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ,其镜质组反射率和挥发分的变化都不明显,也不规则。到了无烟煤阶段,煤中挥发分所余不多,变化有限,也就不明显;镜质组反射率不仅在肥煤到贫煤阶段是良好的煤级参数,而且在贫煤进一步变质过程中,仍可作为良好的煤级参数;只是由于芳香环排列有序化程度增高,镜质组出现光学各向异性(上页表)。

与其它煤级参数相比,镜质组反射率不受煤岩组分、灰分和煤样代表性的影响,受还原程度的影响也较小,只在煤遭氧化完全失去粘结性的情况下,镜质组反射率才开始改变(А. Е. Проскуряков, 1982)。更重要的是,在较长的煤化过程中,镜质组反射率的增长与煤级的增高呈线性正相关关系。中国根据镜质组最大反射率将中国煤划分为0—Ⅷ共9个煤级。

镜质组反射率 $R_o\%$ 是目前最佳煤级参数。不过它也有两点不足:一是在低煤化阶段变化幅度小;二是在高煤级阶段出现光学各向异性,即双反射率,其数值为 $R_{o,\max} - R_{o,\min}$ ,  $R_{o,\max}$ 小于4%阶段,双反射率增长缓慢; $R_{o,\max}$  4~6%阶段增长较快;煤级再高,  $R_{o,\min}$ 反而随煤级的增高而降低,使双反射率迅速增高。因此,在超无烟煤阶段,确定煤级除用镜质组反射率外,还以双反射率和各向异性比( $R_{o,\max} : R_{o,\min}$ )或 $R_{o,\min}$ 作为辅助参数。

**壳质组(类脂组)荧光性参数** 低煤级煤的壳质组不仅在蓝光照射下显示较强的荧光,而且其荧光性随煤化程度的增高作规律性的变化。①壳质组(主要是孢子体)的荧光强度与镜质组反射率呈反比关系,即反射率越低,荧光强度越大,并随煤化程度的增高而逐渐减弱以至消失;②随着煤级的增高,荧光光谱峰( $\lambda_{\max}$ )由低波段域向高波段域迁移,即移向红色荧光,当 $\lambda_{\max}$ 移到670nm以上的肥煤阶段时,因荧光过弱而难以测试;③壳质组的红/绿商Q随煤级的增高而增大。

壳质组的荧光性在低煤化阶段随煤化程度的加深而作规律性变化,正好补上镜质组反射率在低煤化阶段的不足。可以认为,镜质组反射率辅以壳质组荧光性,成为当前最好的煤级参数。

#### 参考书目

E. 斯塔赫等,《斯塔赫煤岩学教程》,杨起等译,煤炭工业出版社,1990。

杨起等,《煤地质学进展》,科学出版社,1987。

(杨起)

mei jiechu bianzhi zuoyong

**煤接触变质作用** (contact metamorphism of coal)

岩浆接触或侵入煤层时因其高温、挥发物和压力使煤发生变质的作用。导致煤发生接触变质的,常是岩墙、岩脉、岩床等浅成侵入体,通常其覆盖层较薄,煤受其高温产生的挥发性气体较易逸出,冷却也较快。由于这种快速加热在一定程度上与炼焦过程相似,因而与岩浆侵入体直接接触的煤常转变为天然焦和高变质煤。接触变质影响的范围小。中国江西乐平鸣山矿辉绿岩岩墙上部宽1.10m,中部宽1.00m,下部宽0.80m,除与岩墙接触处的煤变为天然焦外,往外只变为高变质烟煤,煤接触变质带总宽度不足1m(表1);

表1 中国乐平鸣山矿6008采区岩墙处煤接触变质带煤镜质组反射率变化表

| 采样点号             | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 样点与岩墙<br>间距离 (m) | 0.250 | 0.300 | 0.350 | 0.400 | 0.450 | 0.500 | 0.550 | 0.600 | 0.650 | 0.700 |
| $R_{o,\max}$ (%) | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 | 0.006 |

(据潘伟尔等,1993)

淮北石台县早二叠世煤层中有厚0.29m的斜长斑岩岩脉,紧靠岩脉处的煤变质为天然焦,但是距岩脉1m以外的煤,已与未受接触变质影响的煤具有相同的挥发分(表2)。

表2 中国淮北石台县某岩脉处煤接触变质带挥发分变化表

| 采样点号             | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 样点与岩脉<br>间距离 (m) | 0.250 | 0.300 | 0.350 | 0.400 | 0.450 | 0.500 | 0.550 | 0.600 | 0.650 | 0.700 |
| 挥发分 (%)          | 20.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  | 20.0  |

(据王金城,1978)

接触变质会增高煤的矿化程度,接触变质煤的灰分普遍较高,特别是无烟煤、超无烟煤,距岩浆侵入体越近,灰分越高。岩浆侵入体与煤之间可呈突变的平面接触,也可呈岩煤混合的不规则接触。被煤污染的岩浆侵入体常转变成碳酸盐和其它一些次生矿物,称为“白色捕虏体”,其主要成分 $\text{CO}_2$ 部分来自伴随岩浆侵入体的挥发物,部分由煤与水在高温下反应生成。大量



CO<sub>2</sub> 的存在,使煤和岩浆侵入体中的矿物转变成碳酸盐,其中最常见的是方解石。接触带上的岩浆侵入体和高变质煤中都产生有很多裂隙、裂缝,有时充填有煤在经受高温过程中形成的焦油状物质(靠近接触带的煤在受高温时,可形成塑性物质进入接触带两侧的裂隙、裂缝中)。据宫静娴等的综合资料,山东燕山晚期岩浆侵入某煤层形成的煤接触变质,分带如下(岩墙宽 0.31m)。

(1) 焦岩混合带。指岩浆侵入煤层后,从出现天然焦开始到混于天然焦中的岩浆岩团块消失为止的接触带,宽 0.25m。这部分天然焦颜色最浅,相对密度最大,矿化最严重,显微镜下可见到叶片状、流纹状、花瓣状、梳状、镶嵌状等结构和各向异性小球体;后生气孔多为圆形,孔径 1~50μm,气孔中以充填方解石为多,其次为石英、黄铁矿;反射率可达 8% 或更高。化学特性为挥发分、氧含量、发热量降低,碳含量、水分、灰分增高。

(2) 天然焦带。为纯天然焦带,宽 0.24m。从焦岩混合带向外可依次分为致密焦、砾状焦、柱状焦和粒状焦。

(3) 煤焦混合带。指天然焦带之外侧,介于天然焦和煤之间的过渡带,宽 0.25m,为煤和天然焦的混合物。其宏观特征是疏松,不均一,黑色,染手。

(4) 高变质煤带。指煤焦混合带外侧未形成天然焦但已受岩浆接触影响的高煤级带,宽 0.20m。

(5) 正常煤。指完全未受岩浆接触变质影响的煤。

#### 参考书目

E. 斯塔赫等,《斯塔赫煤岩学教程》,杨起等译,煤炭工业出版社,1990。

杨起、韩德馨等,《中国煤田地质学》上册,煤炭工业出版社,1979。

(杨 起)

meikuangchuang shuiwen dizhi leixing

煤矿床水文地质类型 (hydrogeologic type of coal deposit)

根据矿床充水特征及地下水对矿床开采的影响程度划分的类型,用以指导煤田水文地质工作,保证其经济技术合理性,满足煤矿建设的实际需要。

**类型划分原则** ①类型划分应是在全面、系统整理和综合分析已有煤矿床水文地质资料的基础上,对矿井充水条件进行高度概括和归纳。要突出影响矿井充水的主要因素,符合实际情况,客观反映煤矿床水文地质条件及变化状况。②能反映煤田水文地质勘探的工作重点,据以拟定经济技术合理的勘探方法、工作量

及其布置原则。“类”,主要作为选择工作方法的依据;“型”,主要作为确定工作量及其布置原则的依据,使煤田水文地质工作和矿井水文地质工作合适地衔接。③能用作判别依据,以便于选择矿井(坑)涌水量预测模型与方法,拟定矿井(坑)水防治措施,并估计其经济性。④简单明了,易于掌握。

**类型划分** 中国煤矿床水文地质分类工作开始于 1955 年。关于煤矿床水文地质类型的划分,曾有过多种意见和方案,所考虑的划分依据有地质断面特征、气候条件、地形地貌、与当地地表水体的相对位置和关系以及充水岩层的特征等。其中许多方案考虑的是多种因素,但各有不同的侧重。

1959 年,地质部与煤炭工业部联合制定了《矿区水文地质工作规范(暂行)》,将煤矿床水文地质类型划分为充水岩层以疏松及半胶结岩层为主;充水岩层以坚硬裂隙岩层为主;充水岩层以喀斯特溶洞化岩层为主;充水岩层以坚硬裂隙岩层或喀斯特溶洞化岩层为主,并为厚的疏松含水层覆盖等四类。每类按矿床水文地质条件的复杂程度又各分为简单、中等、复杂、极复杂四型。

1986 年,全国矿产储量委员会颁发了《煤炭资源地质勘探规范》。该《规范》是全国矿产储量委员会煤炭专业储量委员会会同煤炭工业部、地质矿产部等单位在煤炭系统试行的《煤炭资源地质勘探规范》1980 年版的基础上修编定稿的。该《规范》按直接充水含水层的含水空间特征,把煤矿床划分为三类。

第一类 孔隙充水矿床,以孔隙含水层为主的矿床。

第二类 裂隙充水矿床,以裂隙含水层为主的矿床。

第三类 岩溶充水矿床,以岩溶含水层为主的矿床。它按进水特点又分为两个亚类:第一亚类 顶板进水为主的岩溶充水矿床。第二亚类 底板进水为主的岩溶充水矿床。

按水文地质条件(地下水埋藏、分布、补给、径流、水质、水量及其形成地质条件),直接充水含水层的富水性及补给条件,并结合煤层与当地侵蚀基准面的关系等其它因素,各类矿床又各划分为三型。

第一型 水文地质条件简单的矿床,主要包括①煤层位于地下水位以上或季节变化带内,以大气降水为主要充水水源;②直接充水含水层单位涌水量  $q < 0.1 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。

第二型 水文地质条件中等的矿床,主要包括①直接充水含水层单位涌水量  $0.1 \leq q \leq 1.0 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ ;②直接充水含水层单位涌水量  $1.0 < q \leq 2.0 \text{ L}/(\text{s} \cdot$

m), 但补给条件不好, 与地表水体联系不密切, 或直接充水含水层与煤层之间的隔水岩层较稳定、隔水性能较好, 水头压力不高, 断裂带导水弱。

第三型 水文地质条件复杂的矿床, 主要包括①直接充水含水层单位涌水量  $q > 2.0 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ 。②直接充水含水层单位涌水量  $1.0 < q \leq 2.0 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{m})$ , 但补给条件好, 与地表水体联系密切, 或直接充水含水层与煤层之间隔水岩层不稳定, 水头压力较高, 断裂比较发育, 导水性强。

### 勘探工作重点

**孔隙充水矿床** 着重研究直接充水含水层的岩性、厚度、富水性及其变化; 隔水层的岩性、厚度、隔水性能及其分布; 含水层间及含水层与地表水体间的水力联系程度; 煤层顶、底板岩层的物理力学性质与水理性质, 产生流沙溃入、巷道变形等问题的可能性。

**裂隙充水矿床** 着重研究直接充水含水层的岩性、厚度、裂隙性质及其发育程度与分布特征、富水性变化状况; 风化带发育深度; 断裂带的富水性及其沟通各含水层和地表水体联系的可能性等。当以大气降水为主要充水水源时, 还应着重调查老窑分布与塌陷范围以及大气降水的渗入情况。

**喀斯特充水矿床** 着重研究直接充水含水层的喀斯特发育规律、富水性及其差异性; 地下水补给、排泄条件和矿床充水途径; 评价疏排地下水后可能出现的水文地质、工程地质问题。

**顶板进水为主的喀斯特充水矿床** 重点研究直接充水含水层的边界条件及补给途径与部位; 直接充水含水层与地表水体的水力联系。当直接充水含水层裸露时, 要调查地面喀斯特的发育情况, 溶斗、落水洞、溶洞、暗河的分布特征, 地下暗河及其与地面喀斯特现象的关系、汇水范围以及大气降水的渗入情况。

**底板进水为主的喀斯特充水矿床** 重点研究直接充水含水层的边界条件, 喀斯特裂隙发育情况与构造的关系, 煤层与直接充水含水层之间隔水岩层的岩性组合、厚度变化、受构造破坏程度; 预测可能突水的地段。

各类充水矿床被厚层松散沉积物覆盖时, 应划分出松散层中的含水层和隔水层, 重点研究其底部含(隔)水层的厚度、富水性(隔水性能)及其分布等; 研究松散含水层与地表水体及基岩直接充水含水层的水力联系, 并评价其对矿井开采的影响。

### 勘探方法

**孔隙充水矿床** 应进行地表水体调查及长期观测, 了解它与直接充水含水层水力联系。利用钻孔取心与测井资料, 配合地面物探, 查明含(隔)水层的岩性、

厚度及其变化情况。利用水文地质钻孔, 结合部分地质勘探钻孔, 组成水文地质剖面, 进行抽水试验, 采取岩(土)样作颗粒分析和物理力学试验与水理性质试验, 查明直接充水含水层的富水性及其变化情况, 查明其与开采有关岩层的物理力学性质和水理性质。

**裂隙充水矿床** 主要运用水文地质测绘、钻孔简易水文地质观测、水文物探、生产矿井调查等手段, 查明裂隙发育程度与分布情况。结合矿井设计的需要, 在裂隙密集地段和主要断裂带附近, 布置抽水试验钻孔。

以大气降水为主要充水水源的裂隙充水矿床, 则以生产矿井和老窑的调查、长期观测、水文地质测绘为主, 配合地面物探和少量钻孔, 划出老窑采空区; 圈出老窑与生产矿井采动塌陷裂隙的范围与渗水地段; 了解断层、老窑与地表水体间的水力联系, 必要时建立小流域水均衡长期观测站; 对主要生产矿井和老窑泄水点的水量和水质, 进行长期观测, 注重调查生产矿井最大或特大涌水量。一般可布置少量抽水钻孔。

**喀斯特充水矿床** 对勘探钻孔进行简易水文地质观测, 注意描述岩心的溶蚀现象, 认真统计喀斯特裂隙的数量; 配合水文地质测绘、地面物探、水化学分析、生产矿井调查和岩石化学成分分析, 从自然地理、地质构造、岩石成分、岩层层组类型与地下水运动特征等方面, 研究喀斯特分布与发育规律。在此基础上, 布置抽水试验钻孔或者选择遇溶洞裂隙或漏水的地质勘探钻孔进行抽水试验, 并对煤层与直接充水含水层间的隔水岩层进行分层采样, 了解其物理力学性质。根据需要, 在有条件的地区尽量采用群孔抽水试验; 在水文地质条件复杂的矿区, 采用大流量、大降深的群孔(孔组)抽水试验。

**顶板进水为主的喀斯特充水矿床** 应对区内及附近主要地表水体的渗漏量及主要泉水进行长期观测; 对补给边界地段应适当加密控制。为查明边界断层的导水性及两侧含水层的富水性, 可在断层两侧含水层的对口部位布置钻孔, 互换抽水, 互换观测, 或做联通试验。煤层位于地下水位以上或季节变化带的喀斯特充水矿床, 主要开展水文地质测绘和生产矿井调查, 配合地面物探、长期观测和钻孔简易水文地质观测, 一般不做抽水试验。水文地质测绘工作重点调查各种喀斯特地貌和暗河; 圈定汇水面积和渗漏范围。同时, 建立小流域水均衡长期观测站。此外, 应注意收集当地历年瞬时暴雨量资料。

**底板进水为主的喀斯特充水矿床** 水文地质测绘面积一般应是一个完整的水文地质单元。在水文地质条件复杂的大水矿区, 必要时首先以少量钻孔了解底部含水层各分层(段)的富水性, 建立比较完整的水文





地质综合柱状,利用延深钻孔控制煤层底板隔水层的厚度和直接充水层的富水性变化。特别是在井田第一水平(或首采区)及直接充水含水层的最强富水地段,应布置较多延深钻孔。抽水试验钻孔主要布置在直接充水含水层与煤层间岩层薄弱部位或强富水性地段。

各类充水矿床被厚层松散沉积物覆盖时,在煤层及基岩直接充水含水层的隐伏露头地段,应配合地面物探,在多条地质勘探线上选择几个钻孔,采集松散层岩心,通过岩心鉴定,结合测井资料,划分含、隔水层,查明该地段的基岩界面形态,松散含水层与基岩直接充水含水层的水力联系,松散层底部含水层的厚度、分布、富水性和补给条件。抽水试验钻孔一般布置在煤层隐伏露头地段,必要时可布置群孔进行抽水试验。

**基本勘探工程量** 各类型充水矿床在各勘探阶段所需的工程量,以满足相应的工作程度要求为原则。《煤炭资源地质勘探规范》对各类型矿床在资源勘探各阶段的工程量作了一般规定。具体布置工程量时,应考虑井田(勘探区)的实际情况。

(1)在多煤层、多含水层的井田(勘探区),逐层分析各主要可采煤层直接充水含水层对矿井充水的影响;确定主要直接充水含水层并按其类型布置工程量;对其它直接充水含水层,可适当布置工程予以控制。

(2)可根据井田(勘探区)面积的大小,酌情增减工程量。

(3)当井田(勘探区)邻近有水文地质条件相似的生产矿井时,抽水工程量可适当减少。

(4)用一种勘探手段即可解决的水文地质问题,一般不必使用其它勘探手段;用几种勘探手段均可解决的水文地质问题,则选用较经济的勘探手段。各种手段和工程量之间要合理地组合。

(高洪烈)

## meikuang gongcheng dizhi

**煤矿工程地质** (engineering geology of coal mine) 工程地质学中研究煤矿建设和开采与地质环境之间相互联系、相互制约关系及其基本规律的一个分支。其主要任务是:查明井田、露天矿田的工程地质条件;评价与采掘有关岩(土)体的稳定性和可挖掘性;研究与预测可能存在的各类开采工程地质现象及其产生的地质条件、力学机制和发展规律;提出防治不良地质现象的措施,为保证采掘的合理规划和正确设计以及顺利施工提供可靠的地质依据。

由于煤矿工程地质条件复杂,加上开采工程地质现象是随采掘范围的不断扩大和延深而逐渐发展的,并且还与采掘强度与方法有关,因而煤矿工程地质研

究贯穿于地质勘探至采矿终结的全过程。这一研究,具有连续性、阶段性(从初级到高级)、适应性(分析与计算模型要与监控成果相适应,随新信息而发展)以及反馈性(根据后期勘探与监测成果修改前期结论)。

### 研究内容

(1)研究井田或露天矿田岩(土)体的空间分布规律及其工程地质性质,采掘岩(土)体的结构特征和物理力学性质,岩(土)体地应力场、地下水与岩(土)体的相互作用等。

(2)研究煤矿井筒、巷道、采场采掘工程中岩(土)体的应力、变形和破坏机制,影响因素及稳定性;掘进中井巷软岩(土)层的塑性变形、流变和膨胀特性,井筒流砂层,构造破碎带塌帮等特殊工程地质问题;开采时岩(土)层移动规律;进行矿井采掘工程专门工程地质勘测。

(3)研究露天煤矿剥采边坡、排土场岩(土)体的应力、变形和破坏机制,影响因素及稳定性;进行露天煤矿专门工程地质勘测。

(4)分析和预测自然条件下和采掘过程中发生或可能发生的活断层、地震、滑坡、崩塌、泥石流、开采沉陷、突水、瓦斯突出、喀斯特塌陷、煤层自燃、井巷岩爆、采场冲击地压、矿震、研石山滑落、井下热害等地质灾害和环境工程地质问题,研究它们的形成机制,影响因素及稳定性,评价它们对采掘和地质环境造成的危害程度,制订相应的监测措施;研究与制订对有害工程地质问题的防治措施。

**研究方法** 包括地质分析法、实验研究法、现场测试法、类比法和计算法。

**地质分析法** 运用地质学理论,查明煤矿区工程建设与开采工程地质条件和地质现象的空间分布,分析与预测煤矿工程地质问题的产生过程和发展趋势。这既是煤矿工程地质研究的基本方法,又是其它研究方法的基础。

**实验研究法** 包括测定和分析岩(土)的各种特性参数和指标,通过物理模拟试验,观察岩(土)体的变形、破坏过程并测定有关物理量。

**现场测试** 包括在现场研究岩(土)体的力学特性及其在载荷作用下的变形、破坏机制,地表变形、移动观测,岩(土)体变形、破坏观测,滑坡监测,等等。

**类比法** 根据勘测、研究矿区与邻区在工程地质条件、实测数据和开采方法等方面的相似性,对其工程地质进行类比评价。

**计算法** 用解析法和数值法等方法,对煤矿工程岩(土)体的变形、破坏和稳定性进行分析和计算。

**发展趋势** 随着矿井采掘向深部发展或大型露天

煤矿的开发,今后将发展高精度和高度自动化的岩(土)试验仪器设备、模拟试验技术及现场测试手段。在含煤岩系工程地质特征、特厚松软岩(土)层凿井工程地质特征、深部井巷和采场地应力及地压工程地质机理、开采中岩(土)层移动的工程地质机理、大型露天煤矿边坡和排土场边坡稳定性的工程地质分析等方面,将会更深入地进行研究。在煤矿工程地质计算方面,随着电子计算机技术的迅速发展,预计对煤矿工程岩(土)体的流变性、非线性、各向异性等复杂本构方程的研究,以及有限元法、边界元法和离散元法等数值计算方法将会得到充分应用。

(狄乾生)

meikuangqu dizhi zaihai

**煤矿区地质灾害** (geologic hazard in coal mining area)

煤矿区范围内危害人类生存和财产损失的地质环境或地质体的变化。地质灾害既有自然形成,也有工程作用诱发或引起的;有的突然爆发,有的缓慢发展。

煤矿区最常见的地质灾害有地震、崩塌、滑坡、泥石流等。此外,还有地裂、地面沉降或塌陷、井下热害、煤自燃、突水、瓦斯突出、井巷岩爆、冲击地压等。

煤矿区地质灾害的形成取决于一定的地质条件,具区域性。其发生地区,甚至有些灾害的发展强度与形成时间,可以预测。地质灾害有的目前是可控的,如构造地震;有的是可控的,如滑坡、塌陷等,通过采取工程措施,可以阻止其形成或减弱其发展强度。

**地震** 指地面震动的现象。它主要是由地球内部的突然急剧运动而引起的。按形成机理可分为构造地震、火山地震和诱发地震三类。

**构造地震** 地下岩体中长期积累的能量,造成岩体的脆性破坏而急剧释放,以地震波形式传播而引起的地面震动。岩体的这类脆性破坏(即岩层断裂)一般沿着已形成的脆弱面(即断层面)发生,是造成一切大地震和大多数小地震的主要原因,约占地球上地震总数的90%以上。

中国唐山煤矿区1976年7月28日发生的7.8级大地震(震源深度约为11km),震中附近地震烈度达11度。全市房屋70%~80%倒塌,煤矿供电与排水系统严重破坏,矿井涌水量增加三倍以上,导致井巷淹没。

**火山地震** 由于火山喷发及岩浆在地球内部缓慢移动造成的地震。它约占地震总数的7%。

以上两类地震大多集中在相对狭窄地带,即地质构造活动带。环太平洋带为当代主要地质构造活动带

之一。

**诱发地震** 人类工程活动引起的地震。地下核爆炸、大水库蓄水、钻孔注水、岩洞与采空区崩塌等,都可诱发地震。这类地震的特点是震源浅、震级小,但震中烈度可能较大。中国大同煤矿区1956~1980年间,因大面积顶板冒落形成有感地震40多次,最大震级为3.4级。采矿活动有时会引起井下小断层复活而形成地震。辽宁北票台吉煤矿,在向深部开拓期间,自1971年至1990年共发生有感地震37次,其中造成破坏者四次,有一次达3.8级,地表烈度高达8度,而且地震前后井下伴随出现九次冲击地压,影响了井下生产。

**震级** 表示地震大小的等级。它按地震释放能量来划分,由仪器测定。国际上多采用里氏10级震级表。震级相差一级,其能量相差30倍左右,即七级地震强度几乎为六级地震的30倍、五级地震的900倍。

**地震烈度** 指地面及建筑物遭受地震破坏的程度,中国采用12度地震烈度表。地震烈度既与震级有关,又与震源深度、距震中距离及地震波所通过的介质条件等多种因素有关。

地震是可以预测的。首先,可根据地质资料划分出地质构造活动带,圈定活动断层带。在此基础上根据地震台网的观测资料、地震先兆预报当地地震活动增大的可能性。

**崩塌** 在山坡、土坡和露天边坡等陡坡地段,陡坡上部的岩(土)体在重力作用下突然脱离母体,以高速翻滚坠落,并在坡脚堆积的现象与过程。产生在岩体中的崩塌称岩崩,在上体中的称土崩;山区规模巨大的崩塌称山崩,小型块石崩塌则称为坠石。

**崩塌形成的前提** ①斜坡陡峻。一般发生在45°以上的陡坡前缘。②边坡上部发育有陡倾裂隙。③地震或爆破震动、暴雨或长期连续降雨、地表水冲刷或采矿等工程活动掘空坡脚等。大型崩塌往往形成于强烈地震或特大暴雨期间或其稍后。崩塌规模还与陡坡构成的岩(土)性质有关,如巨型崩塌常发生在巨厚状和块状岩体中;软硬相间的层状岩体,多以局部崩塌为主。

**崩塌的防治方法** ①工地或采掘地段避开崩塌可能形成地区。②削弱或消除崩塌形成条件,如减缓陡坡坡度、制止裂隙扩展、禁止在坡脚施工等。

**滑坡** 斜坡岩(土)体在重力作用下,沿一个或多个连续贯通的破裂滑动面整体顺坡下滑的现象和过程。滑坡往往是缓慢地、间歇性地发生,从开始到最后破坏,一般可延续数年到数十年。滑坡由滑动面(往往伴生有滑动带)与滑坡体,即与母体脱离的下滑岩(土)体组成。滑坡通常发生在由黄土、粘土和在水浸泡下会软化的泥质岩、粉砂岩、凝灰岩及其浅变质岩系



构成的斜坡地区。

**滑坡类型** 滑坡按滑动面与斜坡岩层结构面的关系,可分为均质滑坡、顺层滑坡和切层滑坡。

**均质滑坡** 发生在均质岩(土)体中,滑坡面受斜坡的应力状态和岩(土)体抗剪强度的控制。

**顺层滑坡** 指下滑岩(土)体沿岩层层面、沿产状与层面相近的软弱面(断层面、大裂隙面)滑动,或残积堆积物顺下伏基岩面滑动。

**切层滑坡** 发生在岩层产状较平缓与坡向相背的非均质岩层中,滑动面沿裂隙发育。

**滑坡强度** 滑坡规模、滑移速度和滑移距离的统称。首先,它与地形有关,斜坡坡度与顶、底面高差越大,则滑移速度越大;斜坡前方地形越开阔,则滑移距离越大。其次,它与岩(土)体性质有关,滑坡体越破碎,强度越差,滑动面越软化,则滑坡规模越大。再次,它取决于诱发因素,强烈地震或特大暴雨常诱发滑坡,这类成因的滑坡规模大,常同时发生;长期降雨或冰雪融化诱发的滑坡,其滑移时间一般稍滞后于诱发作用时间,滑坡体越松散,降雨量越大,则滞后时间越短。

中国贵州西部六盘水煤矿区位于新构造运动比较活动的山区,滑坡频繁,据统计,占总数84%的滑坡是由人为工程活动诱发的,90%发生在雨季。阜新露天矿非工作帮与工作帮发生滑坡数十次,都是顺层滑坡,滑动时间多发生在冰雪融化期和雨季。

**滑坡防治措施** ①消除和减轻地表水和地下水危害,改善岩(土)物理性状,包括拦截滑体外围地表水流入、疏排滑坡体内的地下水等。②改善边坡岩(土)体的力学强度,常用措施有削坡减载、边坡人工加固和保护坡脚等。

**泥石流** 斜坡上或沟谷中松散土、石和水的混合物,在重力作用下沿斜坡或沟谷流动的特殊洪流现象和过程。泥石流中的固体物质一般超过15%,最高达80%。其冲刷、搬运、堆积过程十分迅速,流速达每秒数米至十余米,整个过程仅数分钟至数小时;其能量极大,可顷刻淹没农田、堵塞江河、冲毁路基、摧毁村镇。

**泥石流形成条件** ①沟谷内地表岩层破碎,有大量松散固体物质。②有陡峻的谷坡地形和较大的沟床纵坡,有利于松散固体物质与水流接触和聚集。③沟谷的中上游地区有强大暴雨、冰雪消融或湖泊、水库溃决等形式补给的充沛水源。④在矿区,由于矿山建设、植被破坏、采空区崩塌等因素,也可促使泥石流发生。矸石山可以成为泥石流的固体物质来源。

**泥石流流域** 典型的泥石流流域包括上游形成区、中游流通区、下游堆积区三个区段。①上游形成区。往往为三面环山陡峻的汇水谷地。②中游流通区。多为

狭窄河谷。③下游堆积区。地形开阔平坦,能汇集大量堆积物。

**泥石流防治措施** 关键是对整个流域进行综合治理。无论是对可能发生但尚未发生泥石流的沟谷,还是对已爆发过泥石流的沟谷,都要采取保护植被、植树造林及合理耕种等预防措施;采矿矸石堆放和巷道采掘,应不造成山坡塌滑,不堵塞沟谷。条件合适时,可采取防护、拦挡和排导等工程措施。

崩塌、滑坡、泥石流三者有时相互联系,甚至相互转换。1989年7月9日,四川省华蓥市溪口镇发生1Mm<sup>3</sup>的滑坡,滑坡体在滑移过程中破碎,在大暴雨和地表水作用下转化为泥石流,导致红岩煤矿及一些工厂和村镇掩埋,损失巨大。

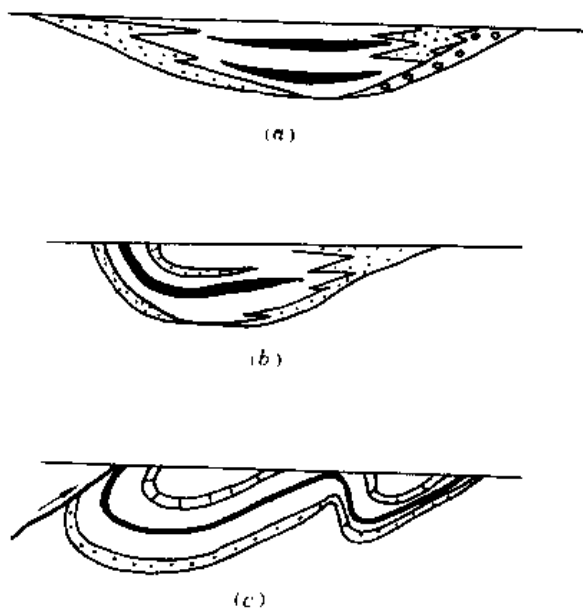
(叶敦和 胡丹九)

meikuang shuihai zhili

**煤矿水害治理** (control of water hazard in coal mine) (见安全·环保卷)。

meipendi

**煤盆地** (coal basin) 同一聚煤期内形成含煤岩系的沉积盆地。它是地壳上有沉积充填的地域,其起源是构造沉降。侵蚀洼地等非构造成因的洼地也能成为充填的场所,但很少见,且多叠加有构造活动。盆地演化历史中经历了充填和构造变形以及后期的侵蚀破



煤盆地、聚煤盆地边界性质示意图

a—聚煤盆地,周边为沉积边界;b—煤盆地,

主要是侵蚀边界,部分保存有沉积边界;

c—煤盆地,全部为侵蚀边界

坏。因此,现今的盆地只是其保存下来的部分。揭示地史上沉积演化阶段盆地的原始沉积面貌,需要进行一系列沉积学与地层学研究才能重建。

煤盆地是现在地壳上保存含煤岩系的实体。中国山西省的沁水煤盆地是一个大型的平缓向斜构造,石炭二叠纪含煤岩系得以完整保存,而古地理重建表明原沉积盆地范围要大得多。而中国云南省的昭通煤盆地则在第三纪至第四纪早期沉积充填后未曾遭受强烈变形,因而与原始沉积盆地范围大体相近。

在煤田地质学研究及找煤勘探中需要了解同沉积盆地的范围。20世纪70年代开始使用“聚煤盆地”这一术语,表示聚煤期的原始沉积盆地,但聚煤盆地的边界是沉积边界(depositional margin),而煤盆地的边界则主要是侵蚀边界(eroded margin),仅在罕见情况下才保存有部分沉积边界(上页图)。

中国煤盆地按成因可划分为拗陷型、断陷型、塌陷型和侵蚀型四种。

#### 参考书目

武汉地质学院煤田教研室,《煤田地质学》上册,地质出版社1979。

R. C. Selley, 1976, An Introduction to Sedimentology Academic Press, London.

(李思田)

meipendi fenxi

**煤盆地分析** (coal basin analysis) 通过对煤盆地沉积史、构造史、地热史、煤的聚积和转化等方面的分析,研究煤盆地的成因、演化、煤层富集等规律,以指导煤田地质勘探的新学科。沉积盆地分析是以盆地的整体研究为目标的理论和方法体系。这一学科在20世纪60年代初期初具系统,随后在地质学多分支学科结合的条件下迅速发展。由于含煤岩系是盆地演化特定阶段的产物,没有盆地就没有煤、石油和天然气,因而了解盆地演化的总体背景是阐明煤聚积和赋存规律的重要基础。

盆地分析的思路与方法,体现了整体性、动态性和有序性。盆地的形成、演化是一个漫长的历史过程,其沉积、构造和含煤性等各项基本要素都存在着演化序列,因此盆地分析是一种历史演化分析,其内容主要包括,①沉积充填史;②构造史;③地热史;④煤聚积和转化史等方面的研究。

含煤岩系仅是盆地演化特定阶段的产物,通常的研究工作集中于含煤岩系本身。但是含煤岩系的特征与其前期地质历史不可分割:①盆地基底构造常对其有重要控制作用。②含煤岩系的上覆地层则反映了成

煤后的沉降史。因此,煤盆地分析也要求完整地研究盆地充填序列。

**沉积充填分析** 盆地沉积史的研究。20世纪70年代开始发展的层序地层学,为沉积充填分析提供了科学的系统。沉积盆地中的全部沉积充填称为盆地充填序列(basin-fill sequence)。根据不整合面、假整合面以及与之相应的整合面,可以把整个充填序列划分为不同级别的层序地层单元。高级别的层序地层单元是构造旋回的岩石记录。各级层序地层单元都是三维地层体并反映不同级别旋回性。由于不整合面和假整合面代表着沉积间断和沉积充填的重新开始。因而,以前述关键性界面划分层序地层单元符合充填演化的阶段性。

由各级界面和层序地层单元共同构成盆地的等时地层格架(chronostratigraphic framework)。相和沉积体系的研究,均应纳入等时地层格架中进行,以揭示其三维配置关系。

沉积体系是具有成因联系的相的三维组合。三角洲体系是由分流河道、天然堤、决口扇、分流河口坝、分流间湾充填等十余种相组合而成的。同期有共生关系,相互联结、过渡的几种沉积体系,构成了沉积体系域。以不整合面为界面的层序,其内部由不同的沉积体系域构成。北美学者在边缘海盆地中识别出了低位体系域、海侵体系域和高位体系域等沉积体系域,并认为海平面变化、构造沉降和沉积物补给等因素,共同控制了体系域的类型和在层序中的分布。

在煤盆地分析中,需要阐明单煤层的形成环境,按体系域单元进行研究和编图。

沉积体系域的面貌,直接控制了煤的聚积环境,煤层的形态、厚度、稳定性以及灰分、硫分、显微组成等煤质原生特征。需编制煤盆地大中比例尺高分辨率地理图。其基本内容是,反映沉积体系域的面貌并分析其与煤层煤质的相互关系。

**构造分析** 研究盆地基底特性与构造格架、构造样式及其力学性质、构造组合和序列以及构造沉降历史,最后确定沉积盆地的类型。

**基底特性与构造格架** 首先应从宏观上确定基底地壳的类型。有的煤盆地发育在地台古老结晶基底最稳定的陆核部位上;有些煤盆地则发育于活动性较大的造山带基底之上。基底稳定性与活动性的差异,对盆地特性有重要决定作用。盆地的构造格架系指发育于盆地基底中,并对盆地沉降与充填起重要控制作用的构造,特别是断裂网络,包括断陷盆地的盆缘控制性断裂及与之配套的其它主干断裂;前陆式挠曲盆地中同期发育的盆缘逆冲带等。穿过盆地内部的控制性断裂

难以直接观察, 需要从沉降与沉积上的明显差异进行判断。

**构造样式** 盆地中同期构造配合的总体形态几何特征以及不同级别的断裂和褶曲的形态几何特征。经过对各种构造样式的力学机制进行的大量研究, 通常按总体形成背景可分为伸展的 (extensional)、挠曲的 (flexural) 和走滑的 (strike-slip), 此外还有张扭 (transtensional) 和压扭 (transpressional) 等复合类型。

**构造组合和序列** 同期构造的配套及演化序列。同期构造在一定应力场作用下形成特有的配套样式, 比单一构造更能完好地反映古应力场, 并具有预测功能。在发育时间长的沉积盆地中, 古构造应力场可能已经历过多次转化, 包括张、压交替或张扭、压扭交替等, 每个演化阶段各形成其特有的配套样式, 从而在盆地演化的全过程中形成一定的序列。

**沉降历史** 采用传统的岩层厚度法, 经过压实校正、古水深校正之后, 编制出相应图件的曲线, 空间上差异沉降造成的隆、凹分布是识别古构造格局的重要依据; 煤聚积的有利地区是沉降速度适当并与沉积物补给、海平面变化合理匹配的部位。盆地沉降过程中可能存在着回升, 并造成古剥蚀间断面, 因此, 在研究沉降历史时需要判断并恢复被剥蚀的厚度。盆地模拟技术的发展, 已可用反剥法 (back-stripping) 恢复盆地沉降的动态过程。

**地热史分析** 恢复盆地各地质时期的古地温, 进行盆地地热演化史的分析研究。盆地的地热史是煤物质转化的决定因素。已发现许多沉积盆地都是煤、油、气共生盆地, 表明煤在一定条件下可成为重要的烃源岩。

盆地的热状态首先受控于所在的岩石圈特性与构造状况。在油气勘探中已注意到不同类型盆地地热增温率有明显差异。中国东部第三纪盆地以高地热增温率和高大地热流为特征, 并对应于地幔隆起区; 中国西部塔里木和准噶尔盆地的地热增温率则较低, 地壳厚度也较大。

恢复盆地的古地温有多种手段, 迄今为止镜质组反射率  $R_o$  仍然是最普遍的有效的办法。裂变径迹技术 (fission track analysis) 即根据矿物中 V、Th 放射性同位素自发裂变碎片径迹计时的方法, 是近年来大力发展的研究盆地热史和沉降史的新手段。

盆地的热历史, 决定了煤化阶段及煤变质的分带特征。反之, 煤质参数又是推断古地温和热事件性质的重要依据。

**聚煤特征及聚煤史分析** 煤盆地分析的目的在于, 阐明煤在盆地中聚积的规律性。在煤、油、气共生盆地

中, 还要阐明煤和油气的成因联系, 阐明煤及煤系作为烃源岩的潜力。

煤聚积规律的研究包括数量和质量两个方面。前者主要研究煤层的特征和分布, 后者主要研究煤质的分带性。一系列煤盆地的研究成果表明, 煤层作为三维地质体受盆地中沉积环境与构造因素的综合控制。煤体常具有明显的分带性, 寻找煤层厚而稳定的部分, 并查明其形成的古环境与古构造条件, 是聚煤规律研究的主要任务。大量事实表明, 聚煤作用在煤盆地中常极不均一, 煤炭资源量的大部分常集中于煤盆地中的有限范围内, 由此提出了富煤带或富煤单元的概念。富煤带或富煤单元均形成于古环境与古构造最有利的部位。因此, 煤聚积特征的分析, 需要与沉积充填分析和构造分析的成果密切联系, 研究其相关性与协变性, 进一步认识煤聚积与分布的规律, 概括出具有预测功能的不同条件的聚煤模式。

**盆地演化的背景分析** 包括对盆地演化的大地构造、海陆分布格局中位置、古气候变迁等背景的分析与研究。

煤盆地分析既包括对盆地自身各项要素的研究, 又包括更广阔范畴之背景分析。从系统论的观点看, 盆地作为一个独立系统的同时, 又是更高级别系统的一个组成部分。因此, 盆地研究必须与更高级别的背景研究相结合。

大地构造背景是煤盆地背景分析的首要内容, 包括盆地在板块构造中的位置、盆地的地壳结构和特征、盆地与板块边界的关系和成盆期板块相互作用的动力学 (聚敛、离散、走滑等)。

盆地在大的海陆分布格局中的位置, 盆地充填过程中的古气候变迁等, 也都属于背景分析的重要内容。

煤盆地分析涉及内容广泛、复杂, 要求多学科结合并综合运用地球科学各领域的最新成就, 特别是地质学、地球物理学与地球化学等领域的密切结合并广泛应用计算机技术。

盆地分析的成果, 需要用一整套反映盆地各项特征的图件来表示。作为编图基础, 需综合庞大的数据和各种信息, 由于计算机技术的应用, 才使盆地演化的动态分析和定量分析成为可能, 并形成了当代盆地分析的有力手段——盆地模拟技术。

(李思田)

meipendi lei xing

**煤盆地类型** (coal-forming basin type) 根据煤盆地成因划分的类型。决定煤盆地总体特征的主要因素是大地构造和古地理环境, 而大地构造是首要

的控制因素,很早以前,煤田地质学家就注意到不同大地构造背景下形成的煤盆地,其特征有明显差异。因此,曾尝试用反映大地构造条件的术语命名各种类型的煤盆地。此种分类始于自20世纪30年代,并多以地槽和地台的大地构造学说为理论基础,出现了多种分类方案。20世纪60年代板块学说产生后,在地质学界引起了深刻的反响,人们重新认识和评价地槽和地台的概念,认为,地质学早期所划分的“地槽”,实际上是板块会聚、碰撞之后由复杂的古大陆边缘和洋壳的残余构成,总体上说不具备形成重要煤盆地的条件,仅其中相对稳定和隆起的单元(岛弧)可以有小规模煤聚积,现今日本、印尼新生代岛弧上的小型煤盆地证明了这一点。因此,持槽台观点的学者也认识到,煤盆地基本上是在地台范畴。同时,对以槽台学说为基础的煤盆地构造分类作了重要修改(下表)。

煤盆地构造成因分类表

| 组 | 取决于地壳的构造位置 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |     |       |
|---|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-----|-------|
|   | 地槽内陷       |       |       | 地台边缘的 |       |       | 造山带内的 |       |       | 地台内部陷 |       |     |       |     |       |
| 类 | 取决于地壳发展程度  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |     |       |     |       |
|   | 同地槽型       |       |       |       |       | 同造山型  |       |       |       | 岛弧造山  |       | 台缘陷 |       | 台内陷 |       |
| 型 | 1          | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | 11    | 12  | 13    | 14  | 15    |
|   | 地槽内陷型      | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 | 地槽内陷型 |     | 地槽内陷型 |     | 地槽内陷型 |

(据 Тимофеев 等, 1979, 简化)

在实践中,鉴于对盆地构造性质的认识不一和术语的极不统一,人们常采用最简单的盆地分类,主要分为:断陷煤盆地、拗陷煤盆地、塌陷煤盆地和侵蚀煤盆地。

(1) 断陷煤盆地。边缘受断裂作用控制的煤盆地。按构造样式可分为地堑和半地堑。大型的断陷煤盆地则常是复式的,即其内部由许多个半地堑和地堑及其

间的断隆组成。

(2) 拗陷煤盆地。由地壳拗陷而形成的煤盆地。其基底基本上是连续的、多呈波状起伏,充填厚度和岩相是渐变的。

(3) 塌陷煤盆地。由于地下水溶蚀地下深处的石灰岩、白云岩等易溶性岩石,引起地表塌陷而形成。

(4) 侵蚀煤盆地。由河流、冰川、风的侵蚀作用而形成,一般规模很小。

以板块学说为代表的全球构造活动论的产生和发展,对沉积盆地提出了新的分类,此种分类方案众多,但其分类原则大体都基于盆地所在地壳的性质(陆壳、洋壳或过渡壳),板块边界的动力学特征(聚敛的、离散的或走滑的),盆地与板块边缘的距离(板内或板缘)等三个方面。此种分类体系较为复杂,一般对大陆边缘带的盆地划分很细,而对板内部分则划分过于简略。可是大部分煤盆地都分布在板内。

许多盆地的研究者用形成盆地的力学机制作为划分盆地类型的基本原则,把盆地划分为伸展的(extensional)、挠曲的(flexural)和走滑的(strike-slip),此种划分明确简要,常可与盆地的板块构造分类结合使用。

鉴于多数大型盆地都是不同时代盆地的叠合,因此需要分出盆地的单型。含煤岩系是在盆地发展的稳定阶段形成的,因此划分煤盆地类型还需依据聚煤期盆地的构造特性。

根据国内外情况,按照板块学说的基本原则,煤盆地可划分为板内拗陷煤盆地、前陆煤盆地、深断槽煤盆地、陆内和陆缘裂谷煤盆地、断陷煤盆地、上叠拗陷煤盆地等六和主要类型。

**板内拗陷煤盆地**(intraplate sag coal basin) 形成于相对稳定的陆壳基底之上,通常不显示板缘构造作用的强烈影响、规模可以很大,达数十万至逾百万平方公里的煤盆地,较有代表性的有北美的密执安(石炭纪)煤盆地、俄罗斯的通古斯(二叠纪)煤盆地和中国华北的石炭二叠纪煤盆地。中、小型煤盆地也很多,较有代表性的像中国的大同煤盆地。此种类型煤盆地的煤层稳定,面积很大,有重要的经济价值。

**前陆煤盆地**(foreland coal basin) 形成于板块边缘,形成机制为陆壳的挠曲并与板缘的推覆构造带有关即由推覆体造成的负载(load)沉降和侧向挤压形成的煤盆地。世界上许多大型煤盆地均属此类。其中,较有代表性的有阿巴拉契(石炭纪)、列那(白垩纪)、鲁尔(石炭纪)和悉尼(二叠纪)。前陆煤盆地的形成与板块的会聚、碰撞有关。中国前陆式煤盆地主要分布于西部,包括新疆准噶尔南缘和塔里木北缘的侏

罗纪煤盆地以及四川西部龙门山推覆构造带前缘的晚三叠世煤盆地等。

**深断槽煤盆地 (aulacogen coal basin)** 深断槽 (即坳拉槽) 是发育于板块边缘并与板缘垂直或斜交的盆地, 其开口处与大洋相通。其典型代表是, ①乌克兰顿涅茨煤盆地 (石炭纪), 该煤盆地早期为裂陷, 与俄罗斯地台边缘斜交, 向古大洋方向开口, 后期为深坳陷, 形成了 10000m 巨厚的石炭纪含煤岩系; ②中国贺兰山深断槽盆地 (石炭二叠纪), 该盆地基底为华北地台, 晚元古代开始裂陷, 向南开口处与古祁连海相通, 早古生代断槽的特征十分明显, 石炭二叠纪为再活动期, 形成了深坳陷, 煤层多且厚, 面积大, 是中国重要的古生代聚煤盆地。

**陆内和陆缘裂谷煤盆地 (intracontinental and marginal rift valley coal basin)** ①大陆裂谷形成于伸展背景下的岩石圈破裂, 裂谷盆地皆有复式的地堑形态, 由于受断裂控制而具有清楚的方向性。裂谷常由多个盆地组成, 为一个裂谷系。就目前所知, 活动性较大的主裂谷部分不是煤炭资源形成的有利场所。但其较为稳定的分支, 如德国莱茵裂谷系的下莱茵地堑, 可形成巨厚的煤层。中国的裂谷盆地以第三纪的渤海湾盆地为代表, 在早第三纪裂谷的分支部位与晚第三纪沉降造成的坳陷中, 均有较好的煤炭资源形成。②大陆边缘裂谷形成于板块边缘, 其形成与板块俯冲有关, 但因其基底未出现洋壳而与弧后盆地不同。中国的东海盆地目前已淹没在海面以下, 但它在早第三纪裂陷期却形成了数十层煤层, 成为重要的油、气源岩。

**断陷煤盆地 (fault coal basin)** 受控于同生断裂活动, 规模较小、断裂切割较浅的煤盆地。其构造样式可分为地堑和半地堑两种。在成因上断陷盆地既可以形成于伸展构造背景, 也可形成于走滑构造背景。此外, 中国的许多断陷煤盆地是伸展与走滑两种运动方式的联合, 即属张扭性 (transtension) 盆地。其中, 代表性的断陷煤盆地是早白垩世的阜新煤盆地、霍林河煤盆地和第三纪的抚顺煤盆地、百色煤盆地。

断陷煤盆地面积不大, 但常形成巨厚煤层。抚顺煤层可厚达 120m, 胜利煤盆地褐煤层厚逾 200m, 因而它们具有重要的经济价值。此外, 断陷煤盆地形成于区域性裂陷作用, 因而很少以单盆地出现, 而通常都作为断陷盆地系存在。中国东北和内蒙古的晚中生代断陷煤盆地系还延伸到蒙古人民共和国和俄罗斯外贝加尔地区, 盆地总数逾 200 个。云南第三纪至第四纪早期的断陷煤盆地, 也超过百个。因而, 断陷煤盆地作为盆地系存在时, 也有巨大的资源潜力。

**上叠坳陷煤盆地 (superimposed depression coal**

basin) 位于板缘地带、基底由古生代加积到古老地台边缘的褶皱带构成的煤盆地。中国的典型代表是东南沿海的闽、粤及湘、赣诸省的二叠纪煤盆地和晚三叠世煤盆地, 特别是萍乡、龙岩及湘东南等煤田。由于该类煤盆地的基底是早古生代加里东褶皱带, 因而盆地演化过程中显示了较大的活动性, 并受控于加里东造山带的先存格局, 坳陷呈线性形态; 其占地理也不同于板内古老基底上的大型坳陷, 前者能形成开阔内陆表海, 而后者则多形成较狭窄的海域 (sea way) 或海湾。

以上六种类型, 包括了中国大部分重要煤盆地。

#### 参考书目

武汉地质学院煤田教研室, 《煤田地质学》下册, 地质出版社, 1981。

A. D. Miall, 1990, Principles of Sedimentary Basin Analysis, Springer-Verlag.

P. A. Allen, J. R. Allen, 1990, Basin Analysis, Principles and applications. Blackwell Publications.

C. F. K. Diessel, 1992, Coal bearing Depositional Sys., Springer-Verlag.

(李思田)

meiquyuanjiangrebianzhizuoyong

**煤区域岩浆热变质作用 (telemagmatic metamorphism of coal)**

聚煤坳陷内岩浆侵入的岩浆热, 伴生热液、热气以及放射性元素的蜕变热使煤变质的作用, 又称“煤区域热力变质作用”、“煤远程岩浆热变质作用”。钻探和物探资料证明, 中国山东金岭镇、莱芜、沂南等地下有岩浆侵入体存在地区, 浅部地温较高。岩浆侵入体及其附近地下 300m 处地温一般高出邻区 3~5℃, 莱芜的地温等值线形状, 和地下 400~800m 处燕山期闪长岩所形成的背斜轮廓一致, 而且背斜轴部的地温值较高。上述地区岩体附近煤级都增高为中、高煤级烟煤和无烟煤, 是在经受深成变质的基础上, 又叠加了区域岩浆热变质作用的结果。

**亚型** 根据岩浆性质、侵入方式、侵入深度、侵入层位、岩体规模以及沉积盖层封闭程度等的不同, 可将煤区域岩浆热变质作用划分为煤浅成区域岩浆热变质作用、煤中浅成区域岩浆热变质作用和煤中深成区域岩浆热变质作用等三种亚型。

**煤浅成区域岩浆热变质作用** 岩浆主要侵入煤系, 直接侵入煤层者可形成天然焦, 以小型侵入体为主, 煤级分带窄, 规模小, 侵入深度约在地面下 0.5~1.5km 之间, 沉积盖层较薄、断裂发育。中国鲁中、苏西北、皖北各煤田煤的区域岩浆热变质作用多属此亚型。

**煤中浅成区域岩浆热变质作用** 岩浆侵入深度大致在地面下1.5~3km,在中国华北多侵入于下、中奥陶统或寒武系内;岩体常呈岩床、岩株、岩瘤状;多形成中型规模的变质分带。位于中国太行山东麓的邯邢煤田和太原西山煤田煤的区域岩浆热变质作用属此亚型。

**煤中深成区域岩浆热变质作用** 热源为规模较大的隐伏侵入体,侵入层位低于奥陶、寒武系,侵入深度大于3km;常形成大面积的高变质煤。中国宁夏西北部的汝箕沟煤田产优质无烟煤,物探表明该煤田东南部大风沟西侧和南侧有三处磁异常,显示深处有火成岩侵入体;华北最大的高煤级带,是以山西阳城、翼城、安泽、晋城和河南济源、焦作、商丘、夏邑、永城为中心地带的晋东南—豫中煤的高变质带,以无烟煤为主,有的已达超无烟煤阶段(焦作王封矿煤的镜质组最大反射率 $R_{a,max}$ 为4.70%、中马村矿为5.39%,荣巩为4.16%~6.13%,济源克井矿为6.23%),虽尚未发现大型侵入体,据其各种特点应属中深成区域岩浆热变质亚型。

#### 特点

**煤级分带的特点** 分带的面积和形状受岩浆侵入

体的规模、形状、产状、侵入次数和侵入深度的影响,一般小于深成变质分带而明显大于接触变质与动力变质分带。由于岩浆侵入体为高温热源中心,向外温度逐步降低,因而在平面上形成以侵入岩体为中心的环状煤级分带,由内向外煤级逐渐降低,称为煤级正向环带。而处于四周被岩浆侵入体包围的煤系,则其环状煤级分带由内向外逐渐增高,称为煤级反向环带。环状煤级分带常因岩体形状不同、侵入深浅不同而呈不规则形状,并因煤系分布或断层切割、剥蚀构成比较复杂的形态。区域岩浆热变质煤的煤级分带与区域构造走向的关系,主要取决于岩体的形状和走向以及后期构造变动。中国太行山东麓煤田煤级分带原为串珠状,后经北北东向断裂切割和剥蚀,煤级分带与区域走向接近垂直。

**煤级在短距离内变化明显** 煤深成变质作用下增高一个煤级,常需增加近千米埋深,由贫煤提高到无烟煤所需增加的埋深更大。中国太原西山煤田山西组2号煤与太原组8号煤层间距尚不足百米,煤级却已有差别,显然是叠加了由狐偃山碱性二长岩侵入体导致的煤区域岩浆热变质作用的结果(图1、2)。

**煤级梯度高** 与深成变质煤相比,区域岩浆热变



图1 中国太原西山煤田山西组2号煤层煤级水平分带图

- 1—肥煤; 2—焦煤; 3—瘦煤; 4—贫煤;  
5—无烟煤; 6—碱性二长岩侵入体; 7—煤级分界线;  
8—推测煤级分界线; 9—正断层; 10—推测正断层  
(据张鄂团, 1984)

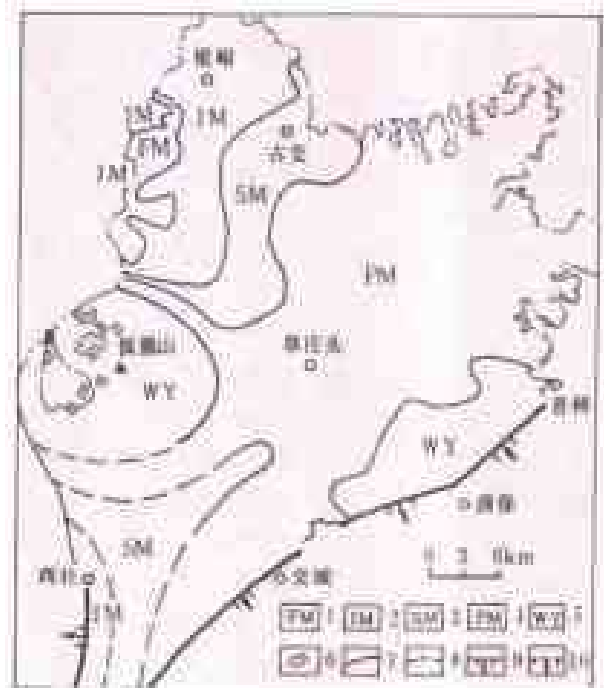


图2 中国太原西山煤田太原组8号煤层煤级水平分带图

- 1—肥煤; 2—焦煤; 3—瘦煤; 4—贫煤;  
5—无烟煤; 6—碱性二长岩侵入体; 7—煤级分界线;  
8—推测煤级分界线; 9—正断层; 10—推测正断层



表1 不同变质作用类型煤的反射率与反射率梯度

| 煤变质类型                                | 地 区     | 埋 深<br>(m) | $R_{\text{max}}$<br>(%) | $R_{\text{max}}$<br>(%/100m) | 地质时代          |
|--------------------------------------|---------|------------|-------------------------|------------------------------|---------------|
| 煤<br>或<br>变质<br>作用                   | 陕西彬州林新窑 | 3000~5000  | <1.20                   | 0.040~0.024                  | $C_2$         |
|                                      | 贵州开阳盆地  | 2000       | 1.00                    | 0.038                        | $P_1$         |
|                                      | 四川中梁山   | 4200       | 1.00                    | 0.054                        | $P_2$         |
|                                      | 四川天阳    | 4200       | 1.67                    | 0.043                        | $P_2$         |
|                                      | 贵州凯里鱼洞  | 3500       | 0.84                    | 0.023                        | $P_2$         |
|                                      | 贵州盘县月亮田 | 3050       | 0.90                    | 0.025                        | $P_1$         |
|                                      | 贵州赤水新村  | 4000       | 1.27                    | 0.030                        | $P_2$         |
|                                      | 鄂尔多斯    | 2800       | 1.00                    | 0.036                        | $C_2$         |
| 煤<br>区<br>域<br>岩<br>浆<br>热<br>变<br>质 | 太原西山    | <2200      | 1.19~2.87               | 0.29~0.40                    | $C_2$ ~ $P_1$ |
|                                      | 峰峰      | 1800~2200  | 7.46 (最高)               | 0.17~0.24                    | $C_2$ ~ $P_1$ |
|                                      | 千灵山—安武  | 2200~4400  | 1.04~0.13               | 0.12~0.27                    | $C_2$ ~ $P_1$ |
|                                      | 湘中洪山殿   | <1500      | 1.00~1.10               | 0.008                        | $C_2$ ~ $P_1$ |
|                                      | 湘中岳口    | <2000      | 1.13~1.00               | 0.103                        | $C_2$ ~ $P_1$ |

质煤的煤级梯度(见希尔特规律)高。中国邯邢煤田山西组大煤反射率梯度为(0.07%~0.305%)/100m;豫中煤田二<sub>1</sub>煤的为(0.12%~0.57%)/100m;湘中洪山殿煤的为0.088%/100m,恩11煤的为0.103%/100m。表1将中国区域岩浆热变质煤与国内外一些地区深成变质煤的镜质组反射率和反射率梯度作了比较,显然前者的煤级梯度远远高于后者。

**成煤温度** 煤区域岩浆热变质作用可将煤深成变质作用形成的低煤级煤的变质程度提高到中、高煤级的烟煤以至无烟煤、超无烟煤。表2是用均一法对中国山西省几个高变质煤带中热液石英脉的石英包体做的测温数据;湘东南无烟煤带白沙矿区董溪和郴州荷叶

矿区龙潭组砂岩中石英脉的石英气液包体的均一法测温值分别为300~218℃和210~272℃;峰峰康二城矿一坑二长岩石英晶体包体测温值为1160℃,大致可代表岩浆形成阶段的温度。无疑,来自侵入岩浆的高温是煤区域岩浆热变质的热源。

**煤物理化学性质的特点** 与深成变质煤相比,区域岩浆热变质煤其焦煤阶段的发热量、碳含量和氢含量都较低,有的在瘦煤阶段已失去粘结性。在煤的物理性质方面,表现为光学各向异性发展较快。在煤的化学性质上,气煤到焦煤阶段的区域岩浆热变质煤,其光学各向异性与深成变质的贫煤和无烟煤阶段相当。

**煤中气孔、镶嵌结构和小球体发育** 中国湖南和江西中南部高变质煤中,发育有较大的气孔和镶嵌结构;河南中部,山西太原西山和东南部非接触变质的中高变质煤中,也都发育有气孔和镶嵌结构;在山西太原西山和晋东南,煤中还发育有小球体。

**围岩变化和发育热液石英脉** 由于岩浆和热液作用,煤层围岩发生一系列变化,在无烟煤带尤为常见。砂岩遭受高温后,使其胶结物的某些成分逸去,从而加大了孔隙度,密度减小。煤层围岩还常发生硅化、叶蜡石化、绢云母化、碳酸盐化、绿泥石化、黄铁矿化等。中国江西乐平涌山矿含煤岩系中粘土岩发生红柱石化;湘中金竹山湾渡矿区煤层围岩发生了蛇纹石化、大理石化、滑石化。围岩中有热液石英脉发育,更是煤区域岩浆热变质的重要标志之一。中国宁夏汝箕沟矿早侏罗世含煤岩系及下伏晚三叠世延长群中以及福建天

表2 高变质煤带中石英包体测温数据

| 地 区     | 石英包体温度℃,<br>最高温度—最低温度<br>平均温度 | 测试<br>数量 |
|---------|-------------------------------|----------|
| 太原西山    | 181~413<br>292                | 33       |
| 太原西山老儿湾 | 181~274<br>208                | 42       |
| 晋城红砂梁   | 138~437<br>287                | 10       |
| 郴城万宝山   | 124~445<br>284                | 18       |

湖山、山西阳城—晋城、湖南澄潭江、江西萍乡紫家冲—三湾、青海木里等无烟煤产地的含煤岩系中,都有石英脉发育。有些围岩中还有热液成因的方解石—重晶石脉、萤石脉和石棉脉发育。

常有内生矿床共生 中国辽东燕山期花岗岩沿纬向断裂带侵入石炭二叠纪含煤岩系,发生煤区域岩浆热变质作用,使煤变质达到高煤级烟煤和无烟煤,并在其邻近形成了热液充填型、夕卡岩型多金属矿床;甘肃九条岭燕山期花岗岩岩浆的侵入,不仅使煤的煤级提高,而且在矿区外围形成了中、高温热液矿床;黔西晚二叠世中、高煤级烟煤区发育了不少中、低温热液矿床;赣南晚二叠世的煤,多已达到超无烟煤阶段,同时还形成了钨矿等中、高温热液矿床;太行山东麓武安和山东淄博东金岭镇的夕卡岩型磁铁矿,河南安阳铜冶南的铬、镍、铅矿,晋东南晋城犁川的铅锌矿以及晋城与陵川间的热液矿床,都与当地的高煤级煤共生。

#### 参考书目

杨起等,《华北石炭二叠纪煤变质特征与地质因素探讨》,地质出版社,1988。

(杨 起)

mei shenchengbianzhi zuoyong

**煤深成变质作用** (deep burial metamorphism of coal)

地面下较深处的煤,在正常地温和上覆岩系静压力的影响下发生的变质作用。煤深成变质作用在各种煤变质类型中对煤影响范围最广,具有普遍性,又称煤区域变质作用。由于它主要是以地温为热源,因而亦称煤地热变质作用或煤正常变质作用。煤深成变质作用的地温来源于原始地球残余热、化学反应热、重物质位移热以及放射性元素蜕变热等。地壳各处的地温是不同的,洋脊、裂谷带、岛弧、中新世造山带以及现代火山区等,是地壳上可能的高地温区;板块俯冲带的地温较低;不同构造单元之间的地温有差异,同一构造单元上的地温也有变化,隆起区的地温高于坳陷区。各地区的地温梯度不同,中国开滦的地温梯度为 $1\sim 2\text{C}/100\text{m}$ ,淮北为 $2.1\sim 2.6\text{C}/100\text{m}$ ,抚顺为 $3.6\sim 4.57\text{C}/100\text{m}$ 。这就必然导致各地区煤变质梯度的差异。可以推断,地史上也必然有类似的情况,而且随着时间的演变,同一地点的地温梯度和变质梯度也不会一成不变。

**深成变质煤的分带** 由于含煤岩系下部煤层或煤组经受的温度和压力大于上部,因而下部煤的变质程度也高于上部。这种煤变质依沉降深度而呈现的规律性变化,即煤变质的垂直分带是希尔特规律的体现。图1为单煤层的变质分带示意图,图2为多层煤的变质

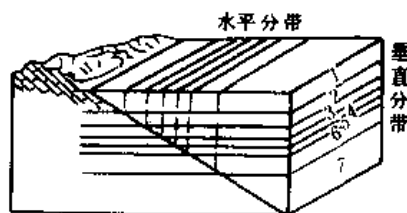


图1 单煤层变质分带示意图

1—长焰煤; 2—气煤; 3—肥煤; 4—焦煤; 5—瘦煤;  
6—贫煤; 7—无烟煤



图2 多层煤变质分带示意图

分带示意图。

德国鲁尔煤田石炭纪含煤岩系厚度超过5000m,煤层多达100余层,煤的挥发分随深度的加大而递减,大致是每深100m降低2.3%,在垂直剖面中,由上而下煤变质程度分带依次为长焰煤—气煤带、气煤带、肥煤带、焦煤—无烟煤带。中国黑龙江省鸡西煤田中生代含煤岩系厚1000余米,含煤10余层,煤质由上而下分为低变质、低中变质和中变质三个带。即使含煤岩系厚度仅几百米,仍能显示出煤质垂直分带。中国河南某晚古生代煤田,其上部石盒子组煤的平均挥发分 $V_{daf}$ 为29.4%,属肥煤;中部和下部的山西组煤的平均挥发分 $V_{daf}$ 分别为23.7%与21.8%,均属焦煤。不仅含煤岩系及其上覆岩系厚度和煤层的层间距影响煤质垂直分带,而且煤变质梯度越大,煤质的垂直分带越明显。

煤质(煤变质)分带包括煤层的煤质垂直分带及其反映在平面上的水平分带(见图1、2)。聚煤盆地中,同一含煤岩系的不同地段,在形成过程中,或其上覆岩系在沉积过程中的沉降幅度差异,以及后期构造变动,都会使其煤层的埋藏深度不同,从而引起变质程度出现差异,即形成煤质垂直分带;反映到平面上就是煤质水平分带。由于希尔特规律的普遍性,煤深成变质形成的煤质分带在许多煤田都有显示,含煤岩系或含煤岩系及上覆岩系厚度的差异越大就越明显。煤深成变质作用形成的煤质分带,较其它煤变质类型的规模大。煤质水平分带呈带状、弧状或环状,各变质带之间的宽度不等。

上覆岩系厚度对煤深成变质作用的影响 中国北



方晚古生代仅仅经受深成变质作用的煤,在有些地区的煤变质分带比较明显。但含煤岩系本身的厚度一般较薄,且变化不大,其所代表沉降幅度上的差别,尚不足以形成不同煤种;而体现聚煤期后不同沉降幅度的上覆岩系厚度的差异,却是这些地区形成煤变质分带的主要原因。中国贺兰山沙巴台太原组和山西组的厚度为221m,正义关为230m,相差不多,但其上覆的石盒子组与三叠系的总厚度的差别却较大,沙巴台只沉积了石盒子组,厚1490m;而正义关还覆有三叠系,与石盒子组相加共厚2557m,因而,沙巴台的晚古生代煤为焦煤和瘦煤;而正义关的煤则已达无烟煤阶段。上覆岩系厚度对煤深成变质的影响表明,煤变质作用(煤化作用)具有长期性、继承性和叠加性。但对于含煤岩系上覆岩系对煤变质程度的影响需进行具体分析。如果上覆岩系与含煤岩系为连续沉积,或虽有间断但时间很短,并与含煤岩系一道经受褶皱构造运动,那么上覆岩系厚度的差异就会对煤变质分带产生重要影响;假若上覆岩系与含煤岩系之间有长时间的沉积间断,或上覆岩系是在含煤岩系褶皱之后才沉积,那么它对含煤岩系中煤层的影响,就应考虑扣除沉积间断时期的作用。

**煤深成变质与褶皱的关系** M. 泰希缪勒(M. Teichmüller)用等煤级线与煤层之间的交角关系表示煤深成变质与褶皱的关系(图3)。图中a所示等煤级线与煤层大致平行,表明褶皱发生在煤深成变质作用完成之后,煤的变质与褶皱无关;图中b所示等煤级线与煤层斜交,表明煤深成变质作用是在褶皱期间进行的;图中c所示煤层受到褶皱而等煤级线水平,表明煤层在褶皱之前未曾经受变质,而是在褶皱之后才变质的。因泥炭在被覆盖后不久由于基底的沉降,就开始了

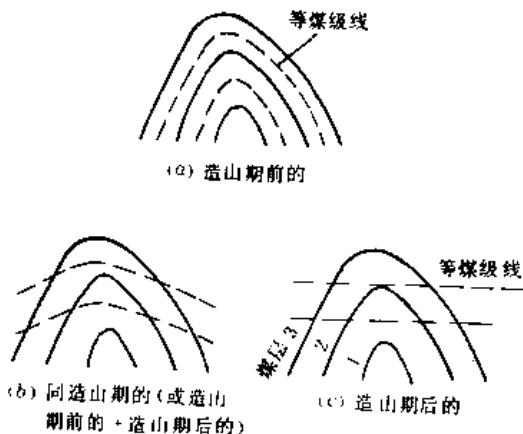


图3 褶皱与煤化作用之间的关系  
(据 M. Teichmüller, 1966)

煤化作用,故单纯褶皱后的变质作用(煤化作用)并不易见到。经过变质的煤,褶皱后若继续受到50℃以上温度的影响,煤的变质程度仍然可以继续加深。经过褶皱的同一煤层,由于在向斜部位较在背斜部位埋藏深,因而向斜核部煤的变质程度就较高,背斜顶部煤的变质程度则较低。同样的原因,经构造变动后,断层下降盘煤的变质程度高于上升盘的同煤层煤。

#### 参考书目

杨起, 韩德馨等,《中国煤田地质学》七册,煤炭工业出版社,1979。

(杨 起)

meitan chuliang

**煤炭储量** (coal reserves) 蕴藏于地下,经过一定地质勘探工作,确定符合储量计算标准,具有一定工业开发利用价值的煤炭资源量。煤炭资源量是可开发利用或具有潜在利用价值的煤炭埋藏量。

**中国煤炭储量分类** 中国根据能源政策和煤炭资源状况,按目前煤矿开采的技术经济条件,全国矿产储量委员会在1986年颁发的《煤炭资源勘探规范》中,将煤炭储量划分为能利用储量和暂不能利用储量两类。

**能利用储量** 曾称平衡表内储量,符合当前煤矿开采技术经济条件的储量。

**暂不能利用储量** 曾称平衡表外储量,由于煤层厚度小、灰分高(或发热量低),或因水文地质条件及其它开采技术条件特别复杂等原因,目前开采有困难,暂时不能利用的储量。

根据煤炭储量动态统计分析的需要,煤炭储量又可分为探明储量、保有储量。

**探明储量** 煤田地质勘探报告提交、经储量审批机关批准的能利用储量。它是反映煤田地质勘探工作成果的主要指标。

**保有储量** 截至统计报告期止,煤田、矿区、井田内实际拥有的探明储量。它反映煤炭资源的现状。

保有储量 = 累计探明储量 - 核算储量 - 开采量

— 损失量 — 其它原因  
— 储量减少量

其中,①开采量。系生产矿山从采场运到井(坑)口的全部煤炭采出量。②损失量。系开采过程中永远遗留在矿井内不能采出的能利用储量。

**苏联煤炭储量分类** 前苏联按国民经济意义将煤炭分为平衡表内储量和平衡表外储量两大类。

**平衡表内储量** 在合理利用矿产资源和保护环境的原则下,在工业部门掌握的开采、加工技术条件下,

可以经济合理地加以开采利用的煤炭储量。

**平衡表外储量** 目前不能经济合理地利用，或在技术上不能利用，而在将来有可能利用的煤炭储量。

**美国煤炭储量分类** 美国 1983 年按地质保证程度和开采的经济可行性将煤炭资源分为资源、储量两类。

**资源** 天然赋存于地壳内的煤炭聚积量，且其形态和数量使之具有现实的或潜在的经济开发的可行性。

**储量** 已鉴别的煤炭资源中，能满足现时开采和生产实践所应具备的物理的和化学的最低要求（包括质量、埋藏深度、煤级和实测点间的距离等）的部分。即在现时的环境、法律和技术条件下，可以被经济地开采的部分。

**中国煤炭储量分级** 中国根据煤田地质勘探研究程度，将煤炭储量划分为 A、B、C、D 四级。其中，A 级和 B 级合称为高级储量（见储量级别）。

**美国矿产储量分级** 美国根据可靠程度将矿产储量划分为：证实储量（包括实测的储量、确定的储量）和推断储量两级。

**证实储量 (proved reserves)** 根据露头、坑道、钻孔中以相当密的点距进行实际观测、采样所得的资料，在可靠地确立了矿床的大小、形状及矿物含量的基础上计算的矿产储量。

**实测储量 (measured reserves)** 圈定这些储量的根据是，观察、采样和测量点的位置靠近，矿床形状及其矿物含量能可靠地确定。

**确定储量 (indicated reserves)** 圈定这些储量的根据是，保证程度虽低于实测储量，但能高度充分地设想各观测点具连续性。

**推测储量 (inferred reserves)** 在对矿床进行概略地质研究的基础上，通过地质推断或与类似矿床的对比，在观测、采样资料很少的情况下所估计的矿床储量，以及有充分地质依据，证实其存在的隐伏矿体所拥有的储量。

**苏联煤炭储量分级** 苏联 1982 年按勘探研究程度将煤炭储量分为探明储量和初步评价储量两类。探明储量又分为 A、B、C<sub>1</sub> 三级。初步评价储量为 C<sub>2</sub> 级。

**联合国矿产资源分类** 联合国于 1979 年推荐了一种矿产资源国际分类系统，按地质保证程度将今后几个 10 年内可能具有经济意义的所有矿产资源划分为 R-1 级、R-2 级、R-3 级等三个基本类别。

**R-1 级** 经过足够详细地质工作确定的矿产资源。每个矿体的产状、规模、基本质量特征、品位分布、影响开采的物理性质等，通过直接揭露和实测，以及根据地质、地球物理、地球化学资料进行有限外推而查明。资源数量可靠性较高，但在一些矿床中，计算误差也可达到 50%。这级资源可用于制订开采计划。

**R-2 级** 与已发现矿床直接相连的矿产资源。资源数量的计算主要依据某些点的观测结果。其产状、规模、形态等，是根据一般地质和构造特征与邻近矿床进行对比以及对某些直接或间接标志的分析进行推断的。资源数量的误差可能大于 50%。这一级资源用于规划进一步勘探工作，并使其进入 R-1 级。

**R-3 级** 尚未发现，但认为是存在于可以发现的已知类型矿床中的矿产资源量。资源数量的估算主要根据地质外推、地球物理和地球化学标志或统计类比。矿床的存在及其规模是推测的，在未来几个 10 年中可能或不可能被发现。这一级资源提供了勘探和矿物原料的远景。

各主要矿产国家和联合国矿产储量分类、分级情况差别较大，很难确切地对比，只能作大体对比（表 1）。

表 1 各主要矿产国家和联合国矿产储量及资源分类、分级大体对比表

|               |         |     |                  |                  |                  |                  |                  |
|---------------|---------|-----|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 中国<br>(1986)  | 探明储量    |     |                  |                  | 预测储量<br>(预测资源量)  |                  |                  |
|               | 工业储量    |     |                  | 远景<br>储量         |                  |                  |                  |
|               | A 级     | B 级 | C 级              | D 级              | E 级              | F 级              | G 级              |
| 苏联<br>(1982)  | 储 量     |     |                  |                  | 预测资源量            |                  |                  |
|               | 探明储量    |     |                  | 初步评<br>价储量       |                  |                  |                  |
|               | A 级     | B 级 | C <sub>1</sub> 级 | C <sub>2</sub> 级 | P <sub>1</sub> 级 | P <sub>2</sub> 级 | P <sub>3</sub> 级 |
| 美国<br>(1983)  | 储 量     |     |                  |                  | 资 源              |                  |                  |
|               | 证实的     |     | 推测的              |                  | 假设的              |                  | 推理的              |
|               | 实测的 确定的 |     |                  |                  |                  |                  |                  |
| 联合国<br>(1979) | R-1 级   |     | R-2 级            |                  | R-3 级            |                  |                  |

**世界煤炭资源** 据 1986 年第 13 届世界能源会议估计，世界煤炭资源为 11989.7Gt。其中，烟煤、无烟煤 6910.3Gt，褐煤 5079.3Gt；世界各主要产煤国家煤炭资源及技术经济可采储量见表 2。

表2 世界各主要产煤国家煤炭资源量及技术经济可采储量 (单位: Gt)

| 国别   | 埋藏而无煤煤 |          | 成煤煤和能煤 |          |
|------|--------|----------|--------|----------|
|      | 资源量    | 技术经济可采储量 | 资源量    | 技术经济可采储量 |
| 中国   | 2310.6 |          | 455.3  |          |
| 苏联   | 2299.0 | 168.2    | 3305.7 | 135.9    |
| 美国   | 892.7  | 111.87   | 874.29 | 111.87   |
| 澳大利亚 | 555.34 | 374.4    | 220.69 | 38.28    |
| 德国   | 230.3  | 25.82    | 192.4  | 36.15    |
| 英国   | 185.4  | 4.8      | 41.4   |          |
| 波兰   | 163.5  | 28.2     | 32.4   | 14.4     |
| 南非   | 132.03 | 2.5      | 54.1   |          |
| 印度   | 111.88 |          | 2.2    | 1.39     |
| 加拿大  | 96.59  | 3.35     | 24.15  | 3.3      |
| 日本   | 8.48   | 1.0      | 0.14   | 0.02     |
| 法国   | 4.31   | 0.22     | 0.17   | 0.05     |

\* 各国煤炭资源量和经济可采储量的概念,计算的煤层深度、厚度和计算方法均不同,表中所列数值仅供概略比较。

(据杨起, 1987; 改编)

到 1993 年末, 中国累计保有煤炭储量 976.0Gt, 其中远景储量 419.6Gt (占 43%)。

(毛节华)

meitan ziyuan

煤炭资源 (coal resource) (见综合卷)。

meitan ziyuan pingjia

煤炭资源评价 (coal resource evaluation)

地质勘探、开发过程中从地质、技术和经济诸方面对煤炭资源利用的可能性及其经济价值的评估。它是正确选择勘探、开发区的前提, 是计划和决策部门开发利用煤炭资源的依据, 是地质勘探报告中的必要内容。

**种类** 资源评价有自然因素(地质、地理)评价和经济因素评价两种。前者是通过评价区之间的比较, 按其优劣, 划分名次。后者是计算各评价区在技术经济上可利用的程度和可能获得的经济效益。地质部门主要用前种方法, 建井、设计及计划部门常用后一种方法。

**自然因素评价** 按划分的评价区确定评价参数, 对评价参数进行重要度赋值, 计算各评价区的评价值和分析对比等步骤进行。最后得出恰当的评价结论。

**评价区** 资源评价的基本单位。评价区的大小, 按评价任务和所处的地质勘探阶段而定。全国性评价, 以含煤区或煤盆地为单位; 含煤区或省级评价, 以煤田或勘探区为单位; 煤田内的评价, 以勘探区或矿区为单位。评价区勘探程度不同, 资料可靠性和利用程度也不

一样, 按地质勘探程度可划分为预测级、普查级、勘探级, 或简化为预测级、勘查级。

**评价参数** 评价的依据。它既包括地质、建井、开采等内部条件, 也包括自然地理、经济地理和环境地理等外部环境。具体的参数有煤炭储量、煤层层数、煤层厚度、煤层稳定性、煤层结构、地质构造复杂程度、煤层产状、煤质(还可按具体煤质分析项目再细分)、开拓方式、埋深、冲积层厚度、水文地质条件、煤层顶底板特征、瓦斯预计涌出量、煤尘爆炸危险性、煤自燃趋势、煤系共伴生矿产、地形、地貌、供水水源、地震及地温热害等自然灾害、交通运输条件、评价区距消费区距离、农副产品供应、森林植被、居民点分布和人口密度等。每项参数根据现行规范或习惯用法划分为很有利、有利、中等有利、不利、很不利等五个参数段, 分别赋值为+20、+10、0、-10、-20, 以便评分。

**评价参数的重要度赋值** 各项评价参数在评价中的重要性不同, 需要对其重要度(即权值)进行赋值。为了消除不同研究者对各评价参数重要度赋值的差别, 采用专家函询法(即德尔菲法), 取其平均值作为权值。各项评价参数的权值之和应为 1.00。据初步研究表明, 重要度最高的是储量, 其后依次为埋深、构造复杂程度、冲积层厚度、距消费区距离、水源等。

**各评价区评分值的计算** 各评价区的内部条件、外部环境和综合评分值, 均按下列方程式计算。

$$D_i = \sum_{j=1}^n (Z_{ij} \cdot F_{ij}), \text{ 其中 } \sum_{j=1}^n Z_{ij} = 1$$

式中  $F_{ij}$  为第  $i$  评价区第  $j$  项评价参数的评分值;  $Z_{ij}$  为第  $i$  评价区第  $j$  项评价参数的重要度值;  $D_i$  为第  $i$  评价区开发建设条件的综合评分值;

$i=1, 2, 3, \dots, m$  ( $m$  为评价区总数);

$j=1, 2, 3, \dots, n$  ( $n$  为评价参数个数)。

按评分值的大小, 对各评价区进行排序。分值越高, 表明其综合开发建设条件越好。同时, 对内部条件及外部环境也可按分值, 分别进行排序, 得出按内部条件及外部环境的优劣次序, 供决策部门参考。

有些评价区由于水文地质条件极为复杂、冲积层太厚等因素, 在目前技术条件下不可能开发, 但它同样能计算出评分值, 在整个排序和分值中看不出来, 需要另加一否定因素。这只能在综合评价过程中, 通过人们的综合分析来解决。

**经济因素评价** 即经济核算方法, 用资源开发后的纯经济效益来衡量。现有计算方法很多, 但基本思路起源于 H. D. 霍斯科尔德 (H. D. Hoskold) 提出的评价矿床价值的计算方程式:

$$V = \frac{E}{\frac{i}{(1+i)^n - 1} + i'}$$

式中  $V$  为矿床价值;  $E$  为年利润;  $i$  为正常的利率;  $i'$  为考虑风险后的利率;  $t$  为开采年限。

**现状** 中国虽然早在 20 世纪 50 年代就已提出要对矿床进行技术经济评价,但一直到 1987 年才由全国矿产储量委员会颁发《矿产勘查各阶段矿床技术经济评价的暂行规定》,从行政上规定在勘探报告中如无评价内容则不予审批,但迄今尚无公认的统一评价方法。中国科学院地理研究所、煤炭科学研究总院西安分院、中国地质大学等曾作过煤炭资源评价的探索性研究,煤炭资源评价工作在中国尚处于起步阶段。

(赵隆业)

meitian

**煤田** (coalfield) 同一地质时期内形成并大致连续发育的含煤岩系分布区,其面积一般由数十至数百平方公里。因受后期构造变动和剥蚀作用而分隔开的一些单独的含煤岩系分布区或面积和煤炭储量均较小的煤田(面积一般由数平方公里至数十平方公里)称为煤产地 (coal district)。

**构成** 煤田一般由含煤岩系及其盖层和基底三部分构成,总体多表现为向斜盆地(图 1),有些文献将煤田和煤盆地作为同义词。煤盆地既可指聚煤期内形成含煤岩系的盆地(又称聚煤盆地),又可指聚煤盆地经后期构造变动和侵蚀破坏,现今保存含煤岩系的赋煤盆地。两者的分布范围可以相近,也可不同。中国云南小龙潭煤田赋煤盆地与聚煤盆地的分布范围就大体一致。而中国河北开滦煤田和冀玉煤田原先属同一聚煤盆地,经构造变动和剥蚀作用后才被分割成不同的赋煤盆地。还有一些煤田的边界是按大断层、地表河流等因素人为划分,显然,这类煤田的范围,仅为聚煤盆地的一小部分。

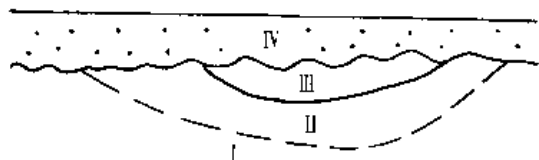


图 1 煤田构成示意图(隐伏煤田)

I—含煤岩系基底; II—含煤岩系;  
III、IV—含煤岩系盖层

### 分类

(1)按其含煤岩系形成地质时代不同,煤田可划分为:古生代煤田、中生代煤田、新生代煤田。还可进一步细分为石炭纪煤田、石炭二叠纪煤田、侏罗纪煤田、第三纪煤田等。

(2)按其具有含煤岩系个数的不同,煤田可划分为单纪煤田、双纪煤田和多纪煤田。①单纪煤田。只有一个地质时代的含煤岩系(如中国抚顺煤田,只具有第三纪含煤岩系)。②双纪煤田。具有两个地质时代的含煤岩系(如中国大同煤田,兼有石炭二叠纪、侏罗纪两个含煤岩系)。③多纪煤田。具有两个以上地质时代的含煤岩系(如中国涟邵煤田,兼有早石炭世、晚二叠世、早侏罗世三个含煤岩系)。

(3)按含煤岩系聚煤环境的不同,煤田可划分为内陆型煤田和近海型煤田。①内陆型煤田。其含煤岩系形成于内陆环境,全部由陆相沉积物组成。中国中生代、新生代煤田多属此型。②近海型煤田。其含煤岩系形成于海岸线附近环境,由近海型含煤岩系的陆相、浅海相和过渡相沉积物组成。中国古生代煤田多属此型。

(4)按含煤岩系盖层对含煤岩系覆盖程度的不同,煤田可划分为暴露煤田、半隐伏煤田和隐伏煤田。①暴露煤田(图 2)。含煤岩系在地表出露良好,可根据含煤岩系基底的露头圈出边界的煤田。②半隐伏煤田(图 3)。又称半暴露煤田、半掩盖煤田。含煤岩系在地表出露尚好,能大致了解其分布范围,或根据含煤岩系基底的露头可部分圈定其边界的煤田。③隐伏煤田。又称掩盖煤田。含煤岩系在地表出露情况极差,基本被含煤岩系盖层覆盖,难以用地面地质测量确定其边界的煤田(见图 1)。该类型煤田,须依靠地球物理勘探配合钻探工程才能查明。

**分布** 煤田的时间和空间分布都是不均匀的。①

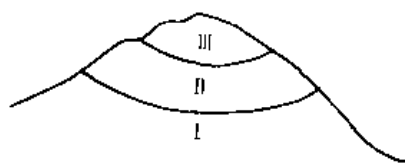


图 2 暴露煤田

I—含煤岩系基底; II—含煤岩系;  
III—含煤岩系盖层



图 3 半隐伏煤田

I—含煤岩系基底;  
II—含煤岩系; III、IV—含煤岩系盖层

世界煤炭资源的 56% 赋存于古生代煤田；30% 赋存于中生代煤田；14% 赋存于新生代煤田。②世界煤炭资源量的 95% 分布在北半球，其中近 80% 集中在北纬 30°~70° 地带，主要分布在俄罗斯、美国、中国及德国、波兰、乌克兰、英国；南半球煤田主要分布在澳大利亚、博茨瓦纳和南非。③世界煤炭资源量的 90% 集中分布在 24 个煤炭资源量超过 100Gt 的特大型煤田，其中 8 个属于中国。

### 参考书目

杨起、韩德馨等，《中国煤田地质学》上册，煤炭工业出版社，1979。

武汉地质学院煤田教研室，《煤田地质学》上册，地质出版社，1979。

王国清、朱德祥，《世界煤炭地理》，商务印书馆，1987。

(叶敦和)

meitian cejingyi

### 煤田测井仪 (coal logger)

用以在煤田勘

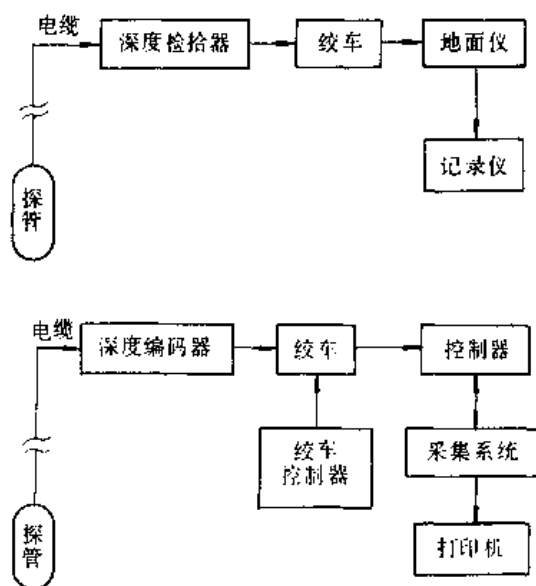
探钻孔中沿钻孔剖面测量各岩层各种地球物理参数，并将有关信息传输到地面加以记录的仪器与设备的总称。煤田测井仪一般主要由探管、地面设备和探管升降设备等三部分组成。

探管又称井下仪器，是孔内测量装置；地面设备包括地面控制仪（通称面板）、深度编码装置和记录采集系统等；探管升降设备由绞车和电缆等组成。

**发展概况** 最初的测井装置是用电话线把电极系下入钻孔内，在地面用电位计逐点进行不连续测量。根据电话线在孔内的相应长度，确定测点深度，再根据测量成果人工绘制测井曲线。最早出现的专用测井仪是半自动测井仪。这种仪器由控制电缆升降的滑轮驱动记录纸按一定纵向比例与电缆同步移动；借助人工控制补偿电路，时刻保持电位计补偿平衡；由与其相连接的机械装置使记录笔随补偿电位的大小改变横向位置，从而在记录纸上绘制出与深度相应的测井曲线，实现孔内连续测量。进一步的发展是用模拟电路代替由人工控制的补偿电路，使测井记录过程全部自动化，出现了全自动测井仪。上述测井仪都是用模拟电路处理信号，最终以模拟电压的形式输出探管探测到的沿钻孔剖面各岩层的各种物性数据。这种测井仪，统称模拟测井仪。下图中上为模拟测井仪的基本框图。

20 世纪 60 年代，随着数字技术与计算机技术的发展，出现了数字测井仪。它采用数字电路处理与传输信号，以数字方式沿钻孔深度按一定间隔离散采样，最终按一定格式将各岩层的物性数据记录在磁带或磁盘等介质上。中国在 20 世纪 70 年代开始研制数字测井

仪，80 年代逐步得到广泛的应用。下图中下为数字测井仪的基本框图。



测井仪基本框图

模拟测井仪（上）；数字测井仪（下）

在由模拟测井仪向数字测井仪发展的过程中，还有一些过渡型仪器，其特点是探管探测的信号以模拟形式传输到地面，再经模数转换器变成数字格式记录。数字测井仪一般通过监视屏幕或打印机或绘图仪等计算机外围设备，获得与模拟测井曲线相似的记录。这种记录称为监视记录。

**探管** 下入钻孔，测量钻孔岩石剖面上各岩层地球物理参数，并将这些信息转换成便于传输的信号。探管外壳一般为圆柱形管，为防止冲洗液渗入，它应能承受一定的压力，多由不锈钢等金属制成，并密封牢靠。探管中安设的元器件及电路应能适应钻孔内温度随深度而变化的环境。由于煤田勘探钻孔直径一般较小，煤田测井仪探管的外径一般都在 45~65mm 左右。根据某些测井方法的特殊要求，有些探管的外部还装有居中器或各类推靠器，使探管下入钻孔后始终保持居中或贴近孔壁；有些，用加长管使探管轴尽量与钻孔轴保持一致。探管内电路使用的电流通常由地面电源通过电缆向下输送，模拟测井仪以恒压供电为主；数字测井仪则以恒流供电为主；无电缆测井仪等少数特殊测井仪则采用密封在探管内的电池供电。由于各种测井方法所测量的物理参数不同，因而需使用不同的探管。

**电测井探管** 最简单的自然电位和电阻率模拟测井所用的探管，仅由若干电极构成（见电测井）。复杂

的探管则需配有相应的电路,以便在孔内向岩层供电,测量电极之间的电位差,并将其以模拟或数字方式传输至地面。采用数字传输需将电位差进行调制(电压频率转换或模数转换)。侧向测井所用的探管,配有跟踪电路,使中心电极与屏蔽电极保持等电位,不让向岩层供电电流在冲洗液中沿孔轴方向流动。

**γ探管** 曾称自然伽马探管,由γ射线探测器、信号处理与输出电路以及电源等三部分组成。γ射线探测器最早多为盖革计数管,目前已广泛地被闪烁计数器代替。闪烁计数器由NaI、CsI晶体等闪烁荧光体与光电倍增管组成。γ射线射入闪烁荧光体后,会产生具有一定动能的电子,激发荧光体产生闪光脉冲,其闪光亮度与电子的能量成正比,它反映γ射线的能量。光电倍增管可将荧光体的闪光脉冲转换成电脉冲信号,其幅度大小与闪光亮度成正比。光电倍增管输出的电脉冲信号,一般要经过放大、整形等处理,再用功率放大器使其具有一定的功率,然后通过电缆向地面传输。采用数字式记录探管时,这一信号处理还要借助模数转换器,将信号以脉冲计数率(单位时间内的脉冲信号个数)编码通过电缆传输至地面。采用具有能谱测量的γ探管,要对光电倍增管输出的脉冲信号进行幅度分析,并按对应的能量窗,分别统计其脉冲计数率。

电源部分除工作电源外,还配置有直流变换器,以便将地面送来的低压变成高压直流电,以满足光电倍增管工作电压的需要。

**密度探管** 探管的电路与γ探管的电路相似。不同的是,密度探管内装有产生γ射线的放射源。采用双源距补偿密度测井时,探管内安置有两个探测器及其各自的信号处理电路。密度测井所需的γ射线源,应是能量中等、半衰期较长的放射性同位素,常用的有<sup>60</sup>Co和<sup>137</sup>Cs等。

密度探管的最下端放置射线源,其上方一定距离(20~50cm)处安装由1~2个闪烁计数器组成的探测器。在射线源与探测器之间充填有屏蔽物质用以阻止射线源直接照射探测器。为提高密度测井的垂直分辨率,有些探管在射线源和探测器部位分别装有定向瞄准装置,用以限制放射源的发射方向和探测器的接收方向。为减小孔径及冲洗液的影响,密度探管常配有推靠装置,使探管紧贴孔壁。有的探管将射线源和探测器安装在活动臂上,使它们更贴近孔壁。少数密度探管除具有定向瞄准装置外,还装有居中器,使探管保持位于钻孔中心,以便探测一次散射γ射线。

**中子探管** 探管除使用中子源(见放射性测井)外,其结构与密度探管类似。中子-γ测井用的探测器,与γ探管或密度探管的探测器相似,中子-中子测井使

用能探测中子(主要是热中子或超热中子)的中子探测器。

最初的中子探测器多使用三氟化硼BF<sub>3</sub>正比计数管。它是一种安有正、负电极的圆柱形密封管,管内充有BF<sub>3</sub>气体,中子射入后,与硼产生核反应生成α粒子,在电场作用下使气体电离产生电脉冲信号。近年来使用的中子探测器主要是<sup>3</sup>He计数管和铀激活锂玻璃闪烁计数器。前者用<sup>3</sup>He气体代替BF<sub>3</sub>,其探测效率要比BF<sub>3</sub>计数管高很多,特别适合于探测热中子和超热中子;后者利用中子与<sup>6</sup>Li产生核反应生成的带电粒子使其发生荧光脉冲。

**声波探管** 发射和接收声波均使用换能器(电声和声电转换的器件)。目前多使用压电陶瓷等制成的圆柱形换能器,它们既能在电激励下会产生机械振动并形成声波,也能由声波的机械振动产生电振荡信号。

声波探管一般借助居中器使其保持在钻孔中心部位。探管内安置1~2个发射换能器和1~4个接收换能器,两者之间相隔一定距离,并用刻花金属管或橡胶软管等隔声体连接,以阻止声波沿探管直接传播。

声发射电路的功能是,通过自激振荡周期地使发射换能器线圈激励而发射周期性的声波振动脉冲,接收换能器接收到沿岩层界面衍行的声波后立即产生周期性的电振荡信号。接收电路在同步信号控制下,在声波发射后一定时间间隔开始接收信号(见声波测井)。

**组合探管** 将多种测井方法采用的探测器组合安置在一起,可在钻孔内一次同时测量各岩层多种地球物理参数的探管。煤田测井中常用的组合探管有同时测电阻率、自然电位、γ和散射γ的探管,三侧向、双源距密度、γ和孔径探管,以及具有多种电极距的电阻率和激发极化探管等。由模拟电路构成的组合探管,往往可将反映各种地球物理参数的输出信号分别调制成直流、交流、正极性脉冲和负极性脉冲,并用同一电缆传输至地面,可提高缆芯利用率。由数字电路构成的探管,往往在各个信号分别进行模数转换后,会在采样指令控制下采用串行方式传输。信号调制多采用不归零二进制或频移键控(FSK)方式。

**孔温探管** (见热测井)

**孔斜探管** (见孔内技术测井)

**孔径探管** (见孔内技术测井)

**地面控制仪** 又称面板,测井中供给孔内探管所需电源,控制探管工作,接收探管传输来的测量信号并将其处理成一定格式的可供记录的信号的地面装置。模拟式测井,不同测井方法的探管具有不同的信号传输方式,需选用不同的地面控制仪。与组合探管相应的地面控制仪,尚需根据信号的特征,将其分别检拾并传



输至各自的处理电路中。数字式测井,不同测井方法的探管都用同一种方式传输信号,可使用同一个地面控制仪。模拟电路的特点是,把测得的各种信号最终处理成直流模拟电压,供记录系统记录。数字电路的特点是,按一定格式编排所测得信号,供采集系统记录。

**深度编码装置** 测井时记录探管所在深度,用以了解测量信号对应岩层深度的地面装置。一般,用固定周长的滑轮来丈量电缆的长度,以确定探管在钻孔内的深度。有时,先在电缆上每隔一个固定距离,制作一个磁性或机械的深度记号,测井时用安置在孔口的记号检拾器识别深度记号,以确定探管的深度。

**记录采集系统** 包括模拟式记录系统和数字式采集系统。①模拟式记录系统。通常用检流计照相或推笔式电动机将各种信号产生的直流电位差记录下来。当电缆运动带动滑轮转动时,借助机械或电驱动记录纸按一定比例移动,记录仪上便可输出沿钻孔深度变化的测井曲线图。②数字采集系统。在采集软件的控制下,按固定深度间隔或时间间隔依次将以一定格式编排的反映各岩层地球物理性质的数据连同深度信号录制在磁盘或磁带上,同时以一定方式绘制测井曲线作为采集监视记录。使用组合探管时,因测定各种地球物理参数的探测器位于探管的不同部位,所记录的深度信息需经一定换算。

**探管升降设备** 包括电缆和绞车。

**电缆** 用来连接地面控制仪与探管的电缆。它除可向探管供电,传输指令与接收信号等电路连接作用外,还要承受探管的重量,保证探管在孔内升降和丈量所测岩层的深度,要具有一定的承载拉力和较小的伸长系数。

测井常用的电缆有橡胶电缆与铠装电缆两类。橡胶电缆的外部裹有绝缘橡胶,中心为若干相互绝缘的导电金属丝绞心,为使其具有较好的导电能力与承载拉力,缆芯多由若干股铜丝和钢丝绞合而成。铠装电缆的外部由若干股钢丝绞合制成,具有较小的伸长系数,在同样直径条件下,它比橡胶电缆具有更大的承载拉力。常用的缆芯有单芯式、三芯式、四芯式和七芯式等。由于测井方法的发展将使测井信息大量增加,因而,光缆将成为测井作业的信号连通器材。

**绞车** 用于控制电缆升降和盘放电缆的设备。目前,恒速绞车已逐渐取代早期使用的普通绞车,可以保证测井时电缆升降速度不变。由于缆芯间的电容与绞车盘放电缆的钢筒会产生电感作用,测井作业时应考虑它们的干扰作用。

(刘家瑾)

meitian cifa kantan

## 煤田磁法勘探 (coal magnetic prospecting)

根据岩体、矿体或其它探测对象与围岩之间的磁性差异,通过仪器观测和分析它们形成的磁异常,来寻找含煤岩系分布范围,煤田内火成岩、煤层燃烧带,研究地质构造,结晶基底起伏等问题的地球物理勘探方法。

煤田磁法勘探中,把地球当作一个理想的均匀磁化球体,它产生的磁场叫做正常磁场,把地质原因等其它各种原因产生的偏差叫做磁异常。它由区域性异常和局部异常两部分组成。在实际工作中,正常磁场和磁异常是相对概念。研究浅部矿体产生的异常时,就可把较深部矿体产生的磁场视为正常磁场。

岩石的磁性差异很大,可相差几个数量级。煤田常见岩石的典型磁化率值如表所示。

煤田常见岩石的典型磁化率

| 岩 性 | 磁化率<br>( $\times 10^{-6}$ 单位) |      | 岩 性   | 磁化率<br>( $\times 10^{-6}$ 单位) |      |
|-----|-------------------------------|------|-------|-------------------------------|------|
|     | 范 围                           | 平均值  |       | 范 围                           | 平均值  |
| 砂 岩 | 0~20                          | 0.4  | 酸性火成岩 | 0~60                          | 6.0  |
| 泥 岩 | 0.01~10                       | 0.5  | 碱性火成岩 | 0.1~100                       | 25.0 |
| 石英岩 | 0~3                           | 0.3  | 变质岩   | 0~70                          | 4.3  |
| 煤   | —                             | 0.01 |       |                               |      |

(据 L. Thomas, 1992)

磁法勘探的条件是,①所探测地质体与围岩之间以及反映构造形态的磁性分界面两侧介质之间,有明显的磁性差异。②所探测地质体有足够大的分布范围,并且埋藏深度不能太大。

含煤岩系的磁化率较低,而基底火成岩或变质岩的磁化率较高。磁法勘探可用于圈定含煤区的主要构造格架;不能用于探找煤层,但有助于探测可采深度范围内可能含煤的沉积层序。

磁法勘探按照观测磁异常的空间,可分为地面磁测、航空磁测、海洋磁测和井中磁测(利用磁测井仪沿钻孔剖面测量地磁场强度相对变化或岩石磁化率的变化)。

**沿革** 磁法勘探是使用最早的一种物探方法。17世纪中叶,瑞典人曾利用罗盘寻找磁铁矿。1879年,R. 泰勒(R. Thalen)等制造出简单磁力仪,磁法正式用于勘探。1915年,德国 A. 施密特(A. Schmidt)研制成刃口式磁秤,使磁法扩大到用以探找多种矿床和研究地质构造。20世纪30年代以后,相继制造出多种电子式磁力仪,精度由原来的10nT提高到0.01nT,



扩大了磁法应用范围,逐步建立起航空磁测、海洋磁测和井中磁测等方法。70年代后,出现了精度可达 $10^{-5}\text{nT}$ 的超导磁力仪,使磁法勘探理论和技术进入了一个新的阶段。中国于1936年开始试验性使用磁法勘探,1950年后才大规模开展这种勘探。

**磁力仪** 测量磁场强度的仪器。根据仪器结构不同,磁力仪可分为机械式和电子式两大类。机械式磁力仪利用力矩平衡原理制成,又称磁秤。电子式磁力仪包括磁饱和式、质子式、光泵式和超导式等。

**磁秤** 利用一个可绕固定轴自由旋转,其偏转角大小与地磁场强度成正比关系的磁棒测量磁场大小的机械式磁力仪。利用光学系统将这一微小变化放大后转换到刻度尺上,可直接读数。它用重力矩来平衡磁力矩,只能测垂直地磁场或水平地磁场相对于一个固定点的改变值。根据磁棒放置位置的不同,磁秤可以分为测量垂直磁异常的垂直磁秤和测量水平磁异常的水平磁秤两种。此外,还有测量地磁场总强度相对值及各种梯度值的总强度磁力仪。按结构,磁秤分悬丝式和刃口式两种。

**饱和式磁力仪** 又称磁通门磁力仪,利用高磁导率软磁铁心在磁场作用下的电磁感应现象测定外磁场的电子式磁力仪。它主要由探头、电子线路和电源构成。其感应电压的大小和地磁场强度成正比。其测量精度可达 $5\text{nT}$ 左右,可用于地面、航空或井中磁测。

**质子磁力仪** 又称核子旋进式磁力仪,利用蒸馏水、煤油、酒精等所含氢质子在磁场中自由旋进的旋进圆频率来测量磁场的电子式磁力仪。它由探头、时间控制电路、测量电路和电源构成。其旋进圆频率与所在磁场的总磁场强度成正比。仪器的灵敏度一般为 $0.1\text{nT}$ 。常用于地面、航空和海洋磁测。

**光泵磁力仪** 利用在一定光照条件下具有光泵效应的铷蒸气、铯蒸气或亚稳态氦,应用电子顺磁共振原理而设计的电子式磁力仪。它由探头、电子系统、光学系统和电源构成,可作连续测量,灵敏度可达 $0.001\text{nT}$ 。它可用于测量磁场强度和梯度。主要用于航空磁测。

**超导磁力仪** 利用超导效应和磁场之间的关系设计的电子式磁力仪。它能响应 $0\sim 1000\text{MHz}$ 的快速磁场变化。其灵敏度可达 $10^{-5}\sim 10^{-8}\text{nT}$ 。它可制成航磁梯度仪,也可用于研究地磁场的微扰及弱磁性岩石的磁性测定。

**地面磁测方法** 在地面布置由测线、测点组成的测网。测网的形状和密度决定于探测对象的规模、研究程度和经济效益等。根据探测对象产生磁异常的强弱来选择仪器类型、磁测精度和观测方式。

磁法勘探的实质是研究地壳内磁场的相对变化。通常,首先在正常区选定一个基点作为全区磁异常起算点。然后按测线、测点观测总磁场强度、垂直分量或垂向梯度的相对值。在个别情况下,还可观测水平分量相对值。在弱磁区进行工作或进行精密磁测时,需要对观测数据作日变校正、温度校正和零点漂移校正。测区较大时,还要进行纬度校正。

磁测结果主要以三种图件表示,①磁异常等值线平面图,用以了解磁异常分布范围、走向等特征;②磁异常平面剖面图,把全区测线画在同一平面图上,然后以各测点位置为横坐标,各点异常值为纵坐标,绘出各测线磁场剖面曲线,用以了解磁异常走向和梯度变化情况;③磁异常剖面图,能较完善地表现磁场沿某一方向变化特征。

**磁法勘探资料解释** 根据实测磁异常并综合其它地质、地球物理资料,确定磁异常的地质原因,推断探测区的地质构造及矿床赋存情况。它可分为定性解释和定量解释两部分。

**定性解释** 解释各个异常是由何种地质体所引起,大致判定它们的分布和产状等。

(1) 异常分区或分类。根据异常的强度、极性、梯度、正负伴生关系、走向、形态、分布范围等,将测区异常进行分区或分类。

(2) 对比磁测资料与地质资料。寻找磁场分布特点与地质构造或地质体的分布之间的对应关系,找出引起异常的地质原因,大致估计引起异常的地质体的走向、倾向、埋藏深度等情况。

(3) 将已知规律推广到未知地质情况地区,推断覆盖层下的地质构造分布情况。

**定量解释** 在定性解释的基础上,对有地质研究价值的异常进行计算,确定磁性体的空间位置、大小、形状和产状。其方法主要有解析法、图解法、异常变换法、选择法和磁场空间分布法等。

(1) 解析法。直接利用异常的解析表达式计算磁性体的各种参数。

(2) 图解法。用作图方法确定磁性体赋存状态。

(3) 异常变换法。对实测异常运用一定的数学运算进行变换,利用变换后的异常求解反演问题。

(4) 选择法。根据初步推断的磁性体形状,用正演方法计算磁异常特征,并把它与实测异常进行对比,通过逐步修改参数直到两者吻合为止。

(5) 磁场空间分布法。利用磁场的空间分布特点与磁性体产状、形状等要素的关系,确定地质体的产状和形状。

磁异常的特征,不仅和异常体的磁性有关,还取决

于磁性体的大小、形状、埋藏深度、垂直方向与水平方向延伸尺寸等,并受磁性的偶极性、倾斜磁化、剩磁的大小与方向等因素影响,在解释中往往出现多解性,因此,要求充分运用已有地质资料,采用多种物探方法综合勘探,并根据地质勘探成果,反复认识,不断深化。

### 应用范围

(1)圈定含煤远景区,大致确定其构造格架。通过用磁法勘探,确定结晶基底的埋藏深度、起伏情况,或推覆体厚度,可以预测煤盆地或含煤区的存在及其构造基本面貌。在这种勘探中,可采用区域航空磁测、区域地面磁测,而且配合重力勘探和钻探方法。

(2)寻找与圈定岩浆侵入体。包括在煤田内圈定火成岩岩席、岩墙和岩脉。通常磁法测线大致垂直侵入体方向布置,测点间距仅几米。

(3)探寻煤层火烧带。沉积岩的磁化率相当低,但

热力蚀变后有可能出现铁富集现象,以致火烧岩的磁化率多变。在火烧带边沿,可能出现较大的磁异常(1000nT左右)。通过垂直煤层走向布置一组磁测线,可精确测定煤层烧变带的分布范围,计算出探查区火烧丢煤数量。

(孙文涛 胡丹九)

### meitian diqiu wuli cejing

**煤田地球物理测井** (coal logging) 简称煤田测井,应用物理方法和专门的仪器设备,沿钻孔剖面探测孔壁附近岩层的地球物理参数,用以划分钻孔地质剖面、探测煤层、确定某些地质与水文地质特征和探查钻孔中技术状况等的一种地球物理勘探方法。其探测孔壁深度范围在数厘米至数十厘米之间。

**发展概况** 1927年,法国C. 斯伦贝尔和M. 斯

煤田地质勘探阶段常用测井方法及其地质应用能力一览表

| 地质任务  | 测 井 方 法 |      |      |        |       |       |        |      |      |         |      |      |
|-------|---------|------|------|--------|-------|-------|--------|------|------|---------|------|------|
|       | 电阻率测井   | 感应测井 | 中子测井 | 中子伽马测井 | 电阻率测井 | 电阻率测井 | 自然电位测井 | 声波测井 | 温度测井 | 微分电阻率测井 | 孔径测井 | 倾角测井 |
| 煤岩定性  | ✓       | ✓    | △    | △      | ✓     | ✓     | △      | △    | ■    | △       | △    |      |
| 煤岩定量  | △       | ✓    | ■    | ■      | △     | ○     | △      | ■    |      | △       | △    | △    |
| 煤岩结构  | △       | ✓    | ■    | ■      | △     | ✓     | ■      |      |      |         | △    |      |
| 灰分含量  | ✓       | ✓    | ○    | ✓      |       | ○     |        | ○    |      |         |      |      |
| 硫含量   | ○       | ○    | ○    | ✓      |       | ○     |        | ○    |      |         |      |      |
| 水分含量  | ○       | ○    | ○    | ✓      |       | △     |        | ○    |      |         |      |      |
| 挥发分含量 |         | ○    | ○    | ✓      |       | ○     |        | ○    |      |         |      |      |
| 固含量   |         |      |      | ✓      |       | ■     | ■      |      |      | ✓       |      |      |
| 发热量   | ○       | ○    | ○    | ✓      |       | ○     |        | ○    |      |         |      |      |
| 煤种    |         | ○    | ○    | ✓      |       | ○     |        | ○    |      |         |      |      |
| 元素分析  |         |      |      | ✓      |       |       |        |      |      |         |      |      |
| 岩性分析  | ○       | ○    | △    | △      | ○     | ○     | ○      | △    | △    | △       | △    | △    |
| 孔隙度比  | ✓       | ✓    | △    | △      | ✓     | ✓     | ✓      | △    |      | ■       | ■    |      |
| 力学参数  | ■       | ○    | ■    | ■      | △     | △     |        | ○    |      |         |      |      |
| 裂隙带识别 |         | ■    | ■    |        | ■     | ■     |        | ✓    |      | △       | ■    |      |
| 含水带识别 | ■       | ■    | ✓    | ■      | ■     | △     | △      | △    | ✓    |         | ■    |      |
| 溶穴识别  |         | ■    | ■    |        |       |       |        | ✓    |      |         | ■    | ■    |

✓ 代表无基岩情况下测井

○ 代表与其它测井方法配合使用;

△ 代表在一定条件下与其它测井方法配合使用;

■ 代表在一定情况下分段使用。

伦贝尔热 (C. & M. Schlumberger) 兄弟首次在煤田勘探钻孔中应用测井方法测量岩层电阻率。目前,在测井方法、测井装备、测井资料处理和地质解释方法等方面均已形成了较完整的理论和技术体系,成为地球物理勘探技术中一个重要的独立分支。中国由翁文波于1939年首先开始使用这一方法,自1953年才开始在煤田地质勘探中应用推广,目前已成为必不可少的勘探手段之一。

包括煤在内的各种岩石在物理性质上存在差异,同类岩石因其成分、孔隙度等的变化也会使其物理性质发生一定程度的变化。这种差异和变化,是煤田测井解决地质问题的前提与基础。在钻孔中测量的与岩石特征有关的物理参数主要有:自然电位、极化电位、电阻率(或电导率)、激发极化特性、自然放射性、次生放射性、声波(纵波和横波)传播速度、声波折射波幅度、以及温度等。除此之外,测井还可以获得钻孔孔斜和孔径以及流体压力、流量、温度等信息。

**煤田测井系列** 按照孔中测量的岩石物理性质,煤田测井可以分为电测井、放射性测井、声波测井、温度测井、倾角测井和其它测井等多种方法系列。每个系列中又包括若干种方法及派生方法。各种测井方法均可在充有冲洗液的裸孔中测量,放射性测井还可以在安装有套管的孔中及无冲洗液条件下进行测量。

煤田勘探钻孔一般直径较小,煤层的结构有时比较复杂,煤田测井具有①孔内探测仪器直径较小,耐高温、高压的要求不太高;②测井的垂向分辨率和采样密度较高;③解释目标主要集中在煤、岩层识别,煤层成分分析及岩石力学性质估计等方面等特点。

各种测井方法解决地质问题各有其优势,在解释效果和精度方面也有所不同。根据不同的勘探任务,选择最合适的测井方法及其有关技术参数,组成最佳测井方法系列,这是每个勘探区测井设计的重要内容。上页表列出了煤田地质勘探阶段常用的测井方法及其解决地质问题的能力。测井资料地质解释的多解性,也是地球物理勘探的普遍问题。使用多种测井方法,综合分析多种测井资料,是解决多解性的重要途径。

**地质应用** 通过分析、处理与解释测井获得的数据,可以准确地确定钻孔剖面上煤层赋存的位置、煤层的厚度和结构。在一般情况下,煤田测井可识别厚度在0.1m以上的煤层和煤层夹矸。测井资料还可用来识别钻孔剖面上各岩层的岩性及其位置和厚度,含水层的位置与厚度,断层破碎带的位置,岩层的产状等。根据给定的岩石和煤层模型,可计算岩层中各主要岩性成分的体积含量和煤层中主要成分(通常包括纯煤、灰分与水分等部分)的重量含量。通过对测井曲线形态和

组合特征等的分析,可识别主要物性标志层。由相邻钻孔测井曲线的对比,能推断钻孔之间的地质构造,煤层及主要标志层在平面上的分布规律,煤层被冲刷以及岩浆侵入范围等,还可能研究沉积环境,为煤田预测与指导勘探提供有用资料。

**发展趋向** 煤田测井在测井仪器装备上正向小型、轻便化、数字化和组合化方向发展。小型、轻便有利于在地形复杂的勘探区使用;数字技术有利于提高测井数据精度;组合型仪器可以一次下井获得多种测井数据,提高测井效率。先进的组合仪器还允许用户根据勘探目的自行设计组合方式。煤田测井除有针对性移植某些在石油测井或其它有用矿产测井中行之有效的测井方法外,正在不断研究新的测井方法。中国煤田测井部门根据煤、岩层的核物理性质,研制、开发了中子俘获 $\gamma$ 能谱测井仪器和方法,它可直接测量煤、岩层中多种元素的含量,受到广泛重视。在数据处理与地质解释方面,美国、英国、中国等已推出一些比较成熟的煤田测井地质解释专用软件系统。更先进的新型软件系统,特别是应用人工智能和专家系统的测井软件系统,正成为重要的研究对象。

(刘家瑾)

meitian diqiuwuli kantan

**煤田地球物理勘探** (coal geophysical prospecting)

简称煤田物探,利用地球物理学的方法,研究煤田地质构造与岩性,解决煤田地质勘探、矿区开发和煤炭开采中有关地质问题的地质工作。

煤田地球物理勘探是地球物理勘探的一个分支。它以各种岩石与煤层等矿体在密度、磁性、电性、弹性等物理性质上的差异为基础,以观测地球物理场的空间与时间分布规律为手段,经过数据处理、分析和地质解释,再现地壳浅层物理性质及结构,达到煤田地质勘探或找煤目的,是一门应用科学。

煤田物探方法和传统的地质工作方法不同,它是借助物理仪器进行间接观测的方法,具有经济、快速、客观、灵活等特点,可以通过加密测网或连续测量提高控制程度和地质解释的可靠性,是对隐伏煤田进行地质勘探的有效方法。煤田物探方法的弱点是不易得到明确、单一的地质结论,需有一定数量的已知地质资料和参数作为约束和控制条件,以减少或克服由于等价性和叠加性造成的资料多解性。以物探和钻探、地质相结合进行综合勘探,是加快煤田勘探周期、节约勘探费用、提高勘探成果精度的有效途径。

**分类** 地壳中存在许多物理性质不同的地质体或分界面。它们在空间形成天然物理场和人工物理场的

变化,称异常。观测自然条件下形成的物理场异常,达到地质勘探目的的物探方法,称天然场法或被动场法。磁法勘探、重力勘探等均属于天然场法。这类方法所用仪器轻便,工作方法简单,效率高,成本低。观测由人工方法形成的物理场异常,达到地质勘探目的的物探方法,称人工场法或主动场法,电阻率法,反射波法等即属于人工场法。其源的激发方式及激发频率、能量等因素,均可由人工控制,适应性强,定量解释精度较高,但仪器及工作方法比较复杂,成本较高。依据所观测物理场性质的不同,煤田物探方法可分为煤田重力勘探、煤田磁法勘探、煤田电法勘探、煤田地震勘探等。按野外数据采集的空间不同,煤田物探方法可分为煤田地面物探、煤田空间物探(包括航空物探、卫星物探)、煤田海洋物探、煤田地球物理测井(简称煤田测井)、矿井物探等。

**应用** 煤田物探研究与煤炭资源有关的地层、构造、岩性、水文、工程、环境、灾害等方面的地质问题。其所采用的方法、手段,和石油物探、金属物探等基本相同,只是由于它们之间勘探深度和勘探对象的不同,在技术措施和技术难点方面有所差别,从而形成了具有煤田特点的方法和技术。煤田物探常用的主要方法有磁法、重力、电法、地震、测井、遥感等。

**煤田磁法勘探** 通过测量磁性地质体产生的磁异常,推断磁性地质体的空间位置和产状的一种物探方法。它常和煤田重力勘探配合使用,研究煤田结晶基底起伏,圈定火成岩及含煤岩系范围,确定煤层燃烧带等(见煤田磁法勘探)。

**煤田重力勘探** 通过测量与围岩有密度差异的地质体或界面在空间引起的重力场局部变化,确定地质体性质及空间位置的一种物探方法。它常用于区域地质测量,寻找煤盆地或含煤岩系,确定地质构造,圈定陷落柱及老窑采空区范围等(见煤田重力勘探)。

**煤田电法勘探** 通过观测由岩石导电性、电化学反应性、导磁性、介电性等电性差异引起的人工电场或自然电场的分布特点及其规律,确定地质构造,圈定煤层及含煤岩系分布范围的一种物探方法。煤田电法勘探分直流电法和交流电法两大类,根据建场方法、观测方法、测量装置的不同,又分为许多分支方法。其中,电阻率法、自然电场法、频率测深法、瞬变电磁法等,是煤田普查找煤、水文及工程地质调查中使用很广的一类物探方法,常用以在隐伏煤田寻找含煤岩系,探测地质构造及基底深度、确定煤层露头位置、研究喀斯特裂隙发育情况,找水、探测喀斯特陷落柱、老窑采空区等(见煤田电法勘探)。

**煤田地震勘探** 利用人工激发地震波在不同岩层

中传播的规律,探测地质构造、含煤岩系分布,解决水文地质与工程地质等问题的一种物探方法。它是煤田物探中精度最高的一种方法,主要用于煤田地质详、精查勘探及矿区开发阶段中(见煤田地震勘探)。

**煤田测井** 根据钻孔中煤层、岩层具有不同物性特点,在钻孔中进行各种物理场测量,用来划分钻孔地质剖面,确定煤层深度、厚度及结构,煤层主要组分含量,岩石力学性质,岩层产状,进行地层对比,进行沉积环境分析等的一种物探方法(见煤田测井)。

**遥感地质** 在飞机或卫星上通过各种传感器接收地面物体辐射或反射的电磁波信息(波长在 $0.4\sim 30000\mu\text{m}$ 范围内),经过解译提供各种地质信息,用于地质填图、矿产普查、水文地质调查以及工程、环境、灾害地质调查的一种勘探方法(见遥感技术)。

**工作内容** 各种物探工作一般由勘探设计、野外数据采集、室内资料处理与解释,提交物探报告等四个环节组成。

**物探设计** 根据工作任务,按相应物探方法的技术规程(或规范)要求编写,主要内容包括,①地质任务和选择的物探方法;②施工区位置及自然地理概况;③地质及地球物理特征;④测网布置及工程量。施工方法及精度要求;⑤提交成果的内容及时间;⑥费用预算等。这是物探施工的依据。

**野外数据采集** 用选定的仪器,在设计的测线上观测物理场参数,获得原始数据的过程。数据采集质量的好坏,是物探工作能否取得成效的基本保证。在浅部或地表条件差的地区,需采取各种技术措施,尽量提高原始资料的信噪比,并认真做好测地工作及班报,为后续工作创造条件。

**数据处理与解释** 物探工作由“场”求“源”的过程。通过对原始采集数据的加工与处理,改善、提取、分离、恢复、突出有效信息,提供便于解释的各种图件和参数。通过对处理后资料的分析 and 解释。推断引起物探异常的地质原因及性质,确定其深度、产状和空间位置。

**物探报告** 提供设计部门或生产单位使用的物探最终成果。其内容包括工作概况,试验工作方法 with 结论,完成的工程量及工程质量评价,资料处理及解释方法,工作成果(包括图件及文字说明)及评价,存在问题及建议等。

**发展概况** 中国煤田物探工作从20世纪40年代初开始试验,但未能取得实用性成果。1953年,燃料工业部根据中国能源工业长远发展战略的要求,大力开展寻找新煤田,特别是隐伏煤田,决定在煤田地质勘探中开展物探工作。从1954年起,燃料工业部煤矿管

理总局地质勘探局相继组建了测井队、电法队、地震队、重磁队。

五六十年代,中国煤田物探主要用于隐伏煤田普查找煤,重磁、电法、地震、测井在许多新煤田的发现中,都发挥了重要作用。70年代,中国煤田物探逐步转向详、精查勘探。进入80年代后,中国煤田物探技术发生了根本性的转变,即①物探仪器基本实现数字化;②建立了物探数据处理中心;③各种物探方法已形成了具有自己特点的处理解释系统;④物探解决地质问题的能力和精度大幅度提高,在矿区建设和开采阶段中发挥了重要作用。

随着寻找新煤炭资源难度的日益增大以及煤矿生产技术的发展,对物探工作提出了越来越高的要求:探

明断距2~5m的小断层,确定煤层厚度及结构,查找陷落柱、老窑及断层突水通道,探测瓦斯,进行山区物探等。这些,都是中国煤田物探今后发展的目标。

(孙文涛)

meitian dizhen kantan

**煤田地震勘探** (coal seismic prospecting)

利用人工激发的地震波,探查煤田地质构造、含煤岩系分布,解决水文地质与工程地质等问题的地球物理勘探方法。其依据是含煤岩系与其上覆、下伏岩系之间,含煤岩系内部不同岩性的岩层之间,煤层与上、下围岩之间,存在密度与弹性波传播速度的差异。

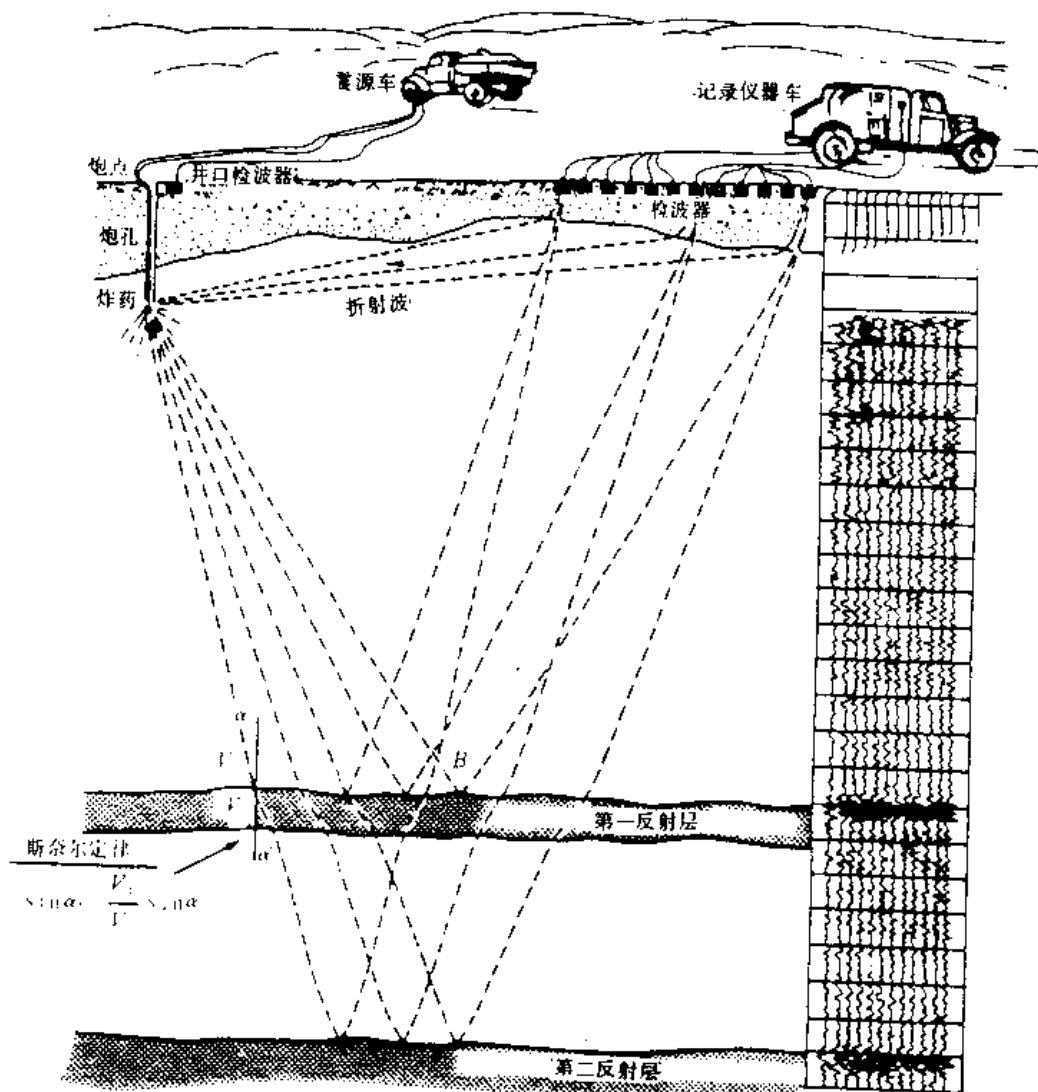


图1 地震勘探原理图

煤田地震勘探多在陆上进行。可用于煤田普查、详查与精查,直至开发勘探各个阶段。它的主要任务是查明覆盖层的厚度;了解含煤岩系的分布范围;探明含煤岩系、煤层的构造形态和断层位置、规模与产状;确定煤层的埋藏深度以及其它有关问题。

**概述** 地震勘探根据所利用的地震波类型,可分为纵波地震勘探、横波地震勘探及槽波(包括面波)地震勘探。根据方法的不同,又可分为反射波法地震勘探、折射波法地震勘探与透射波法地震勘探。

煤田地震勘探中应用最广、最重要的方法是纵波反射法。它以炸药或重锤作震源激发的地震波,在介质内向下传播过程中,在具有密度或速度差的物性界面,即不同波阻抗(速度与密度的乘积)分界面上产生反射(煤层顶、底板是极强的波阻抗界面),反射波返回地表被沿测线(二维地震勘探)或沿面积(三维地震勘探)布置的检波器接收,并将其机械振动转换为电振动后,送到地震仪放大,经磁记录器以模拟量(模拟磁带地震仪)或数字量(数字地震仪)的形式记录。一个(或组)检波器—放大器—记录器组成的信号通道称为一个地震道。实际工作中都是使用多道地震仪,即一次激发的同时,在多个接收点上收到来自不同反射点的多道地震波信息,构成一张多道单炮记录,获得地震波从地面到反射界面又返回地面的时间与波形信息(图1)。

野外采集的数据,必须在室内通过计算机处理,以消除诸多因素的影响。①编辑。剔除坏炮与坏道记录。②静校正。消除炮点、检波点因高程不同,炮孔深度不同,地表风化层及不均匀性的影响。③滤波或褶积。压制各种干扰波,突出有效波。④动校正与叠加。将不同炮点相邻单炮记录中同一反射点的信息,以炮点到各检波点的共中心点的自激自收时间为准,对齐后叠加,形成一条零偏移距的地震时间剖面(也称水平叠加剖面),其横坐标是共中心点的位置;纵坐标是反射波双程旅行时 $t_0$ 。反射点在共中心点的正下方。但当岩层倾斜时,地震时间剖面中反射点位置向下倾方向偏离,需进行归位处理(称偏移),最终得到叠加偏

移地震时间剖面。

对比时间剖面上的反射波,可确定褶皱与断层等构造,绘制构造图(构造解释);从反射特征与几何外形,可判断岩性,预测沉积过程与环境,分析盆地的地质历史(地震地层学解释)。

在绘制构造图时,目的层(包括煤层、油层或某标志层)的深度可由公式 $h = \frac{1}{2}vt$ 计算求出。式中 $v$ 为地震波传播速度, m/s,由地震测井、声波测井、地震数据速度分析等方法提供; $t_0$ 为反射波的双程旅行时, s。

除常规的纵波反射法地震勘探外,由于探测目的、使用条件不同,还有多种勘探方法。但无论何种方法,都要经过数据采集、数据处理和解释三个阶段。

**沿革** 早在20世纪50年代以前,在西德、比利时、荷兰等国就已开展过煤田地震勘探工作。50年代后,西德、英国、苏联等国都曾在许多煤矿区做过地震勘探,并取得效果。70年代以来,英国、澳大利亚、中国、苏联、美国等国煤田勘探中也逐渐推广这种勘探方法。

中国是世界上开展煤田地震勘探较早的国家之一,而且应用最广,规模最大。1941年首用于开滦煤矿。1955年成立第一个煤田地震勘探队后的一段时期,主要使用初至折射波法。60年代起,采用反射波

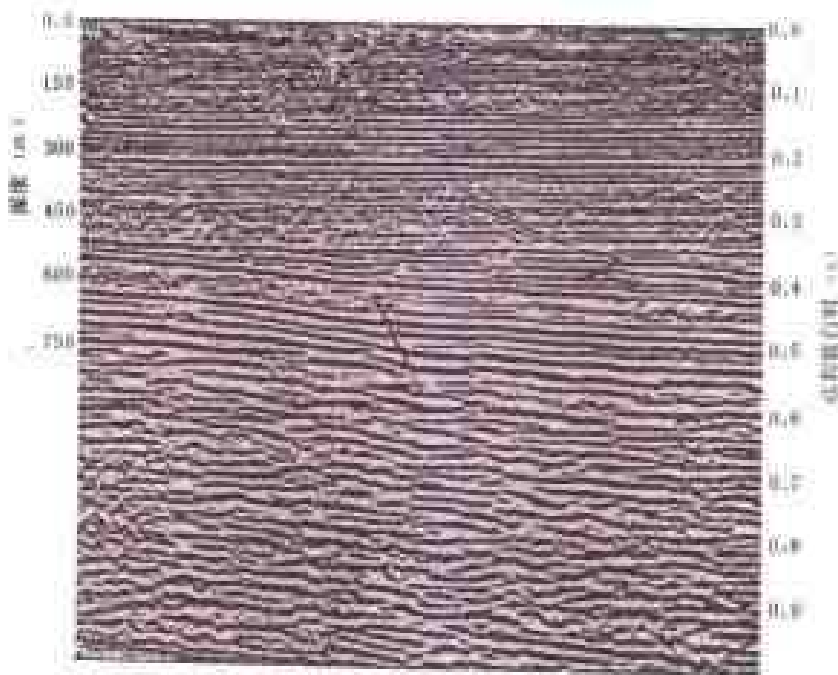


图2 在Vale地区获得的地震剖面  
(药量0.12kg,单检波器接收,检波器间距12m)



法,皆为光点地震仪记录。1972年至1982年逐步改用模拟磁带地震仪。1983年更先进的数字地震仪又投入使用。折射波法迅速让位于反射波法。多次覆盖(或称共中心点叠加)技术的推广,野外采集的数据用计算机作各种复杂方法的处理,提高了地震勘探的精度,改善了地震勘探的地质效果。

在较长一个阶段,煤田地震勘探基本上是借鉴石油地震勘探的方法和技术。

高分辨率地震勘探及槽波法地震勘探的兴起,标志着煤田地震勘探取得了突破性进展。从此,进入了具有煤田地质特色的地震勘探阶段。20世纪70年代初,A. M. 克拉克(A. M. Clarke)首先提出研究高分辨地震勘探方法的必要性。接着A. 吉尔考夫斯基(A. Ziolkowski)和W. E. 勒维尔(W. E. Lerwill)经过试验总结出一套独特的方法,包括小炸药量激发、单检波器接收、高时空采样率、数字地震仪记录等。同时,注意了静校正及消除地滚波的干扰,在600ms(约800m)深度上辨认出落差仅5m的小断层(图2)。中国于1982年在江苏龙垭、安徽刘庄地区开始高分辨率

地震勘探的试验,1985年后在其它条件合适的地区推广应用。与此同时,澳大利亚、美国、德国等的煤田也有不少这方面的成功实例。

1955年,F. F. 埃维逊(F. F. Evison)首先在新西兰一煤层中激发并记录到频散的煤层波(即槽波)。德国的T. C. 克雷(T. C. Krey)于1963年发表了槽波频散的理论计算及试验结果。随后,英国的A. M. 克拉克(A. M. Clarke)及D. J. 布坎南(D. J. Buchanan)等学者,对槽波的衰减及测量方法,槽波的数值模拟与物理模拟,多层介质中频散曲线数值计算方法,煤层夹矸对槽波的影响,槽波测试设备及方法,槽波数据处理特点及方法等专门问题开展了研究。70年代,槽波地震勘探首先在西德、英国等国一些矿井得到实际应用。随后,在许多国家试验推广。中国于1978年开始试验研究,1990年前后已应用于不少矿区。

综合机械化采煤要求查明大于1/2煤层厚度(约1~2m)的小构造。自80年代以来,许多国家还采用多种地震勘探手段以提高分辨率;①利用垂直地震剖

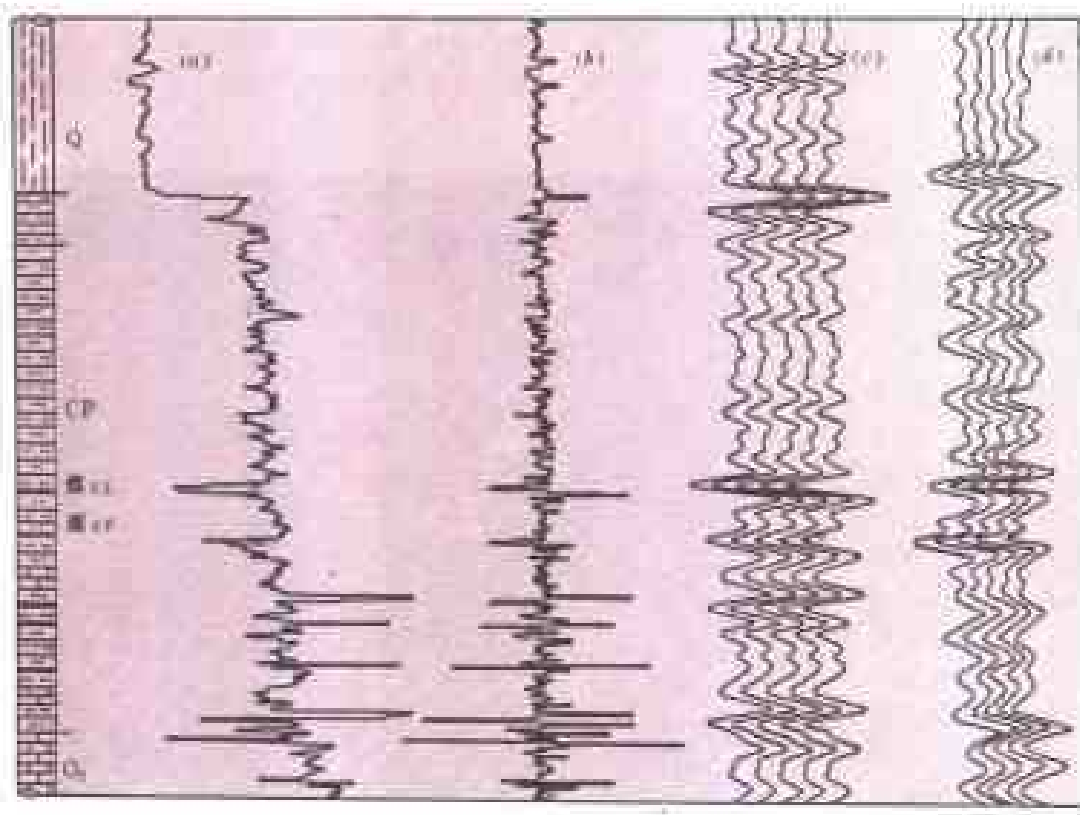


图3 中国山东济宁煤田26—8号钻孔合成记录与井旁实际地震记录的对比示意图

a—速度曲线(由声速测井或其它测井资料求得);

b—反射系数曲线;c—人工合成记录;d—井旁实际地震记录



面法在煤层内或煤层附近直接观测。②以地面钻孔测井曲线(尤其是声波测井曲线)与钻孔旁地震道结合,作地层反褶积,有效地展宽频带。③德国鲁尔煤田和中国黑龙江伊敏、唐口及淮南地区,先后开展了三维地震勘探的试验与研究。

**特点** 煤田地震勘探的主要特点是目的层是煤层,勘探深度较浅,精度要求高。

(1)目的层是煤层。其密度和地震波传播速度明显地低于围岩(在1:2左右)。煤层顶、底界面的反射系数可高达0.15~0.5,甚至更高。煤层既是连续性好的强反射层,又是典型的薄层,它与顶、底板之间是两个强波阻抗分界面,但由于它们的反射波不能单独地检测,因而煤层的反射波实际上是由煤层顶、底界面不同极性的反射波,煤层内的多次反射波,煤层上、下相邻的其它弱反射波互相干涉叠加而形成的复合反射波。合成地震记录的研究说明,复合反射波中,煤层顶、底板的反射和煤层内的多次反射贡献最大,常直接称它为煤层反射波,它的振幅随煤层厚度变薄而近线性变小,但只要煤层厚度大于1m,就可形成足够强的煤层反射波而被检测到(图3)。

在煤层厚度小于1/4优势波长条件下,煤层反射波振幅与煤厚呈近似线性关系。在合适的条件下,结合钻探等其它资料,利用煤层反射波的振幅等动力学特征,可以预测煤层结构及厚度变化。

在包含多层煤的含煤岩系剖面上,煤层常与砂岩、粉砂岩、泥岩,有时还与石灰岩互层。在含煤段内,有许多极性不同,对应煤层顶、底界面的成对强反射系数频繁交替,来自各界面的反射波相互干涉的结果,一般也只有1~2个或几个强振幅的煤层反射波出现。

单个煤层或煤层序列可以看作一个线性系统,对煤层反射波起高通滤波作用;对透射波起低通滤波作用(图4)。其上部煤层的强反射,使向下透射的地震能量剧减,地震波的优势频率不断降低,导致分辨率也

随深度的增大而不断下降。煤层内的多次反射波部分补偿了地震波穿过煤层的透射损失,有助于地震能量向深部传输。煤层间的多次反射波,使上部的反射图像多次重复出现于深部煤层的一次反射波上,干扰以至淹没了深部煤层或其它目的层的一次反射波,不利于深部煤层及构造的勘探。

(2)勘探深度较浅。多在1200m以内(约1s左右),这既有利于获得较高的分辨率,但又限制了最大炮检距(一般小于最深目的层的埋深),不利于压制多次反射、避开面波等干扰,有损于从地震记录上直接提取速度信息的精度。此外,表层的非均匀性的影响更加突出。

(3)精度要求高。要求采用高采样率;精细施工与数据处理;仔细研究表层非均匀性及速度的空间变化规律,进行精细校正,并考虑中间界面的强折射作用;正确选择合适的定性、定量解释及作图方法。

高分辨率法及槽波法是煤田地震勘探的基本方法。

**应用** 随着数字地震仪及数字计算机技术的发展,高分辨率地震勘探和槽波地震勘探的兴起,煤田地震勘探的精度及解决地质问题的能力迅速提高。20世纪80年代,煤田地震勘探已经从单纯用于煤炭资源勘探而步入用于更为精细的开发勘探,并取得了良好的技术经济效益。在地面勘探中,它能查明数百米深度范围内落差大于10~15m的断层,在合适的条件下,能检测到落差小于10m的断层或断点,深度误差在2%左右。在井下勘探中,它可检测到工作面前方落差大于1/2煤层厚度的断层。根据反射波的振幅等特征参数,能研究煤层结构及煤层厚度变化。地面勘探与井下勘探相结合,可研究陷落柱、煤层冲刷带及变薄带等地质异常。煤田高分辨率地震勘探还可用于划分矿区新生界含水层与隔水层、确定煤层下伏石灰岩岩层中的岩溶发育程度,以及隔水层厚度、老窑分布等。

高分辨率、三维和槽波法相结合的煤田地震勘探,辅以其它勘探技术手段,是提高解决地质问题的精度,进一步扩大其应用范围,逐渐满足煤炭工业发展不断提出越来越高要求的必由之路。

#### 参考书目

D. J. Buchanan and L. J. Jackson. Coal Geophysics, Geophysics reprint series, SEG, 1986.

(刘天放)

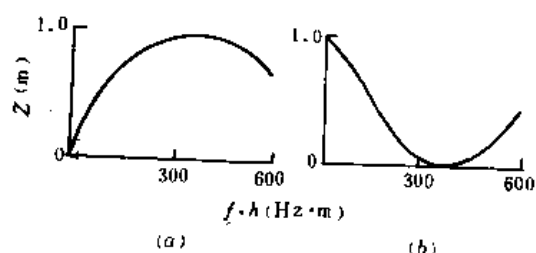


图4 单一煤层的滤波特性

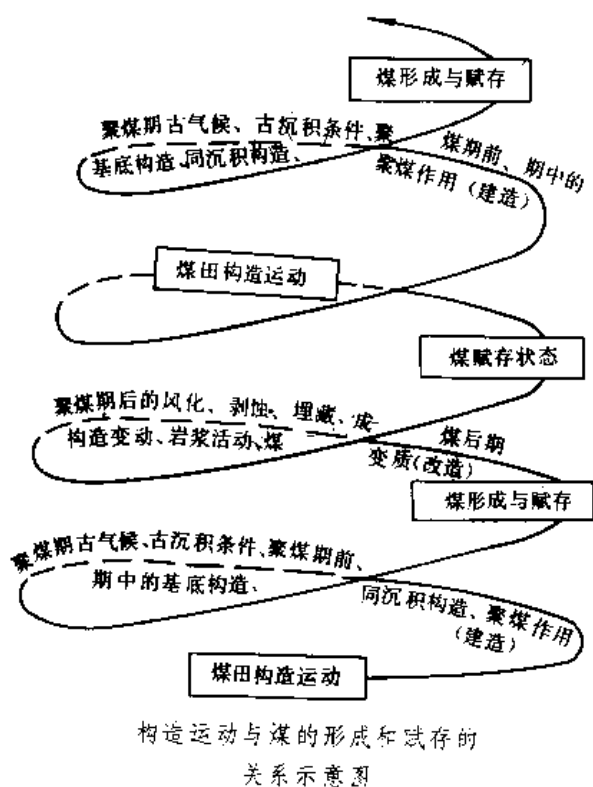
a—煤层对反射波的高通滤波特性;

b—煤层对透射波的低通滤波特性

meitian dizhi gouzao

**煤田地质构造** (geological structure of coal-field) 控制煤的聚集与赋存形态的地质构造。前

者简称控煤构造,后者简称赋煤构造。在煤聚集前和聚集过程中,地质构造控制着古地理、古气候、古植物群落的分布,影响和控制着古沉积条件,在适于煤聚集的时间和空间形成含煤岩系。在煤聚集后,地质构造又使聚煤盆地充填的含煤岩系隆起、拗陷、褶皱、断裂、流变、变质以及岩浆侵入等等,使已形成的煤层遭受改造。随着后来的剥蚀或掩埋,煤层在地壳表层形成了新的赋存状态(下图)。



**分类** 煤田地质构造可从不同角度进行分类。常用的有以下三种分类方法。

(1)根据煤田地质构造形成的地球动力学可分为,①挤压应力作用下形成的煤田推覆构造、褶皱、逆冲断裂等;②引张应力作用下形成的断陷盆地、伸展构造等;③扭应力作用下形成的走滑断裂、挤隆、拉分盆地等;④复合作用下形成的压扭、张扭、先压后张构造等。

(2)根据煤田地质构造发生的时期可分为,①聚煤期前的基底构造;②聚煤过程中的同沉积构造;③聚煤期后不同形态、不同等级、不同性质,不同序次的改造变形。

(3)根据煤田地质构造控制的地域范围可分为,①区域煤田地质构造;②矿井构造等。

中国煤田地质构造由于构造运动的方式、方向不

同,在不同地区,不同地质时期其区域煤田地质构造各具特色,①华北聚煤区,石炭二叠纪煤田煤层相对稳定,褶皱宽缓,断裂以正断层为主。在太行山东麓、鲁西地区,铲式断裂、抬斜断块、断块发育,煤田多保存于宽缓的向斜盆地和断块的下降盘;②华南聚煤区中东部,多紧密线性褶皱,逆冲断层发育,晚古生代煤田煤层多保存于紧密向斜内;③华南聚煤区中西部和西南地区东部,隔档式、隔槽式褶皱属其显著特征,二叠纪煤田多在窄狭的向斜部位或背斜部位保存或出露,第三纪煤田构造平缓;④东北聚煤区,北东向雁行排列的中生代煤盆地群十分醒目,且多为单面断陷盆地,同沉积构造发育,相变剧烈,煤层厚度不稳定,富煤带明显受同沉积构造控制;⑤中国西部地区中生代煤盆地(鄂尔多斯煤盆地、准噶尔煤盆地)规模大,地层平缓,断裂稀少,煤层厚、储量大,富煤带与湖盆中心、滨岸线的迁移密切相关。乌鲁木齐煤田呈急倾斜构造。

中国在一些巨型构造带边缘或附近,包括阴山构造带南麓、秦岭构造带东段、南岭构造带北麓、雪峰山东麓以及郯庐断裂带附近,还发育有相当规模的推覆构造。在太子河流域、兴隆、豫西、杨梅山、涟邵以及徐淮地区的推覆体下,往往赋存有煤炭资源。

用构造体系的观点研究控煤构造,系由中国李四光教授首创。它可以研究地壳运动,海陆分野,海水进退,聚煤带、聚煤区的分布;中可以研究煤盆地的成生与煤田的分布规律;小可以研究矿井构造,探索褶皱、断裂的排列样式,出现频度及规模。

**研究方法** 煤田地质构造研究大体可以分为实际资料、数据采集,分析归纳抽象,重复再现模拟等三个阶段。

(1)煤田地质构造实际资料、数据采集阶段。①采用地质学方法,在野外对岩石、地层、相环境、古生物、变质带、接触界线以及构造形迹的性质与产状及各种不同类型、序次构造间的相互关系进行观察和测量。②在室内使用显微镜、电子显微镜、X-射线,对砾石、古生物变形,岩石组构,煤显微组构,煤核以及矿物晶格位错进行观察与统计。③采用地质钻探方法,扩大直接获取地质素材的范围。④采用地球物理方法,研究隐蔽,半隐蔽煤田及煤田深部地质构造。高分辨率地震勘探可探明断距为10m以上的断层,占地磁法用于研究古构造和同沉积构造,航空、航天遥感技术用于在大范围内研究区域煤田地质构造等。

(2)分析归纳阶段。①根据实际资料编制各类平面图、剖面图、立体构造图、构造剖面图、地质平衡剖面图、构造纲要图、构造体系图、煤层顶板或底板等高线

图、煤层等厚线图、各种趋势面分析图、相剖面图、岩石组构与裂隙统计图、古地磁图、应力轨迹图等。②运用构造解析和应力场分析等方法,归纳构造发育及组合规律,分析其成生机制,建立构造模式,用以解决构造控煤规律和构造预测。

(3) 重复再现模拟阶段。任何构造模式的建立,都应该在自然界有良好的重复性和室内的再现性。为此,可进行泥巴模拟试验、光弹性模拟试验和数力计算。随着计算机技术的发展,计算机模拟越来越广泛地用于煤田地质构造模拟。

研究煤田地质构造的目的不同,其研究方法的选择亦不尽相同。对基底构造(古构造)研究,首先应该着手于古构造标志和形迹的研究,根据成煤期前地层出露、火成岩分带、动力变质带、地球化学等资料,辨识古隆起带,根据古隆起、古断裂展布,沉积等厚线图与岩相图的关系等,确定古坳陷带。然后,根据古构造形迹建立古构造模式,进而探讨基底构造对成煤的控制作用和煤炭资源的分布状态。对同沉积构造研究,同样要先研究同沉积构造形迹。根据断层两侧岩层厚度和岩相的显著差异,鉴别同沉积断层;根据煤层现今埋深与煤变质程度的相关分析,辨识同沉积褶皱。常用的研究方法包括:相—厚度分析法、地质平衡剖面法(图解法)、煤岩法、古地磁法、沉积稳定坡度法以及沉积速率法、回剥法、骨架纵坐标法等盆地模拟技术。

#### 参考文献

- J. G. Ramsay, The Techniques of Modern structural geology, Volume 1, 2, Academic Press, 1987.  
M. 马托埃,《地壳形变》,地质出版社,1984。  
黄克兴、夏玉成,《构造控煤概论》,煤炭工业出版社,1990。  
王煦曾、朱柳如、王杰,《中国煤田的形成与分布》,科学出版社,1992。

(邵震杰 高凌蔚)

meitian dizhi kantan

**煤田地质勘探** (coal exploration) 又称煤炭资源地质勘探、煤田勘探,寻找和查明煤炭资源的地质工作。它根据国民经济建设规划和煤炭工业建设提出的任务,在区域地质调查的基础上,运用先进的地质理论、各种先进技术手段、装备和研究方法,逐步深化对煤炭资源赋存地质条件和开发建设技术条件的研究和认识,按时提交合格的煤田地质勘探报告,满足煤炭工业建设各阶段对地质资料的需求,为煤炭工业合理布局 and 矿井建设提供可靠的煤炭资源,是煤炭工业建设的基础技术工作。

煤田地质勘探工作,通常要经过立项、资料收集、

编制与审查设计、勘探施工与“三边”工作、地质编录、综合研究、编制与审查地质报告、地质报告制印等步骤,完成一个勘探项目一般需用一至数年时间。它是一种野外工作与室内工作紧密结合的、艰苦的科学研究工作。

**勘探任务** 主要包括查明煤层赋存状态并探明煤炭储量、查明煤炭质量、研究煤炭开采技术条件、对与含煤岩系伴生或共生的其它有益矿产进行勘探评价等。

(1) 探明煤炭储量。通过综合采用各种先进的技术手段和装备,按一定的工程布置系统,用适当的勘探密度进行勘探,在达到规定的勘探程度后,按查明的煤层厚度及其变化、地质构造形态变化和煤的密度计算煤炭储量。

(2) 查明煤炭质量。通过采集煤样,进行各种煤质分析,测定煤的工艺性。测定项目需与煤的性质和用途相适应,以确定煤类及评价其工业用途。

(3) 研究煤炭开采技术条件。结合地质、水文地质工作,研究含煤岩系,特别是煤层及其顶、底板岩石的物理力学性质以及瓦斯、煤尘、煤的自燃、地温等影响矿井设计和煤炭生产的开采技术条件。

**勘探程序** 根据地质工作特点和地质勘探应与煤炭工业基本建设程序相适应的原则,中国煤炭工业部将煤田地质勘探划分为找煤、普查、详查、精查四个阶段,一般要按阶段顺序组织施工(见勘探阶段)。①找煤阶段的主要任务是,寻找煤炭资源,并对其有无进一步进行地质工作的价值作出评价。②普查阶段的主要任务是,在找煤工作的基础上,对煤炭资源开发建设价值作出评价,为煤炭工业的远景规划提供地质依据。③详查阶段的主要任务是,在普查工作的基础上,根据煤炭工业规划的需要,选择资源条件较好,开发条件比较有利的地区,为矿区建设开发总体设计提供地质资料,保证矿区规模、井田划分不致因地质情况而发生重大变化。④精查阶段的主要任务是,在详查工作和矿区开发建设总体设计的基础上,按规划井田逐一为矿井初步设计提供地质资料,满足选择井筒、水平运输巷、总回风巷的位置和划分初期采区的需要,保证井田境界和矿井设计能力不致因地质情况而发生重大变化,保证不致因煤质资料而影响煤的既定工业用途。各阶段工作结束后,均提交相应的地质报告。

**勘探手段** 进行煤田地质勘探工作时所采用的各种技术手段(方法和装备),主要有地质填图、坑探(包括槽探、井探)、遥感地质、地面物探(包括地震、电法、磁法、重力等)、钻探、测井、采样、测试、分析、鉴定以及进行数据采集和处理的电子计算机等。

在煤田地质勘探工作中,应根据地质目的、经济效果和地形、地质条件、物性条件的不同,以及各种勘探手段的特长,因地制宜地配置、组合选用。

**勘探方法** 煤田地质勘探所采取的各种技术手段、工程布置和技术措施的总称。根据勘探区的具体条件,选用技术经济合理的勘探方法,是取得勘探成果、加快勘探速度和提高勘探经济效益的保证。

(1)暴露煤田和半隐伏煤田的勘探方法。在充分利用地质填图(有条件时还应开展航空地质填图和遥感地质加以配合),辅以槽探、井探、浅钻和地面电法做好地面地质工作的基础上,再采用钻探、测井和其它手段,完成各项地质任务。地质填图的比例尺随勘探阶段不同而异。①找煤阶段为1:5万或1:2.5万。②普查阶段为1:2.5万或1:1万。③详查阶段为1:2.5万、1:1万或1:5000。④精查阶段为1:1万或1:5000(见煤炭资源地质勘探规范)。

(2)物性条件较好的隐伏煤田的勘探方法。充分发挥地面物探的作用,结合钻探、测井和其它手段,完成各项地质任务。

(3)构造复杂或煤层不稳定地区的勘探方法。在地面地质工作的基础上,选择有利地段,进行边采边探。

**勘探深度** 煤田地质勘探所提供煤炭储量的最大计算深度(见精查)。

**勘探类型** 根据煤田地质勘探中已有经验和获得的成果,从勘探难易程度和应投入勘探工程数量的角度,对勘探区进行的分类。它是选定勘探工程密度的依据。地质构造复杂程度和煤层稳定程度是划分勘探区勘探类型的两个主要指标。

**勘探程度** 在一定工程控制下对勘探区内地质条件和煤炭资源的研究和查明程度。它通常有两种表达方式,①用勘探区内A+B级储量占A+B+C级储量的百分比或B+C级储量占B+C+D级储量的百分比表示。它随勘探区地质构造复杂程度及拟建矿井的井型大小而不同。②按对勘探区地质构造、煤层、煤质、水文地质等地质因素及开采技术条件的实际研究与控制程度衡量(见精查、煤炭资源地质勘探规范)。

**资源评价** 评定勘探区煤炭资源利用的可能性及其经济价值。它涉及规划选区和勘探经济效益等技术经济问题(见煤炭资源评价)。

勘探类型、勘探程度和资源评价这三个基本技术问题,与投入的勘探工程量和投资效益密切相关,在煤田地质勘探过程中需重点加以研究。

**国内发展概况** ①20世纪50年代。早中期,煤田地质勘探刚起步,主要是学习和引用苏联的经验,重点

查明老矿区及其外围的煤炭资源,为老矿区的改扩建提供可靠的地质资料。随后,在总结中国煤田地质勘探的基础上,大规模地开展了全国煤田预测和煤田普查工作,找到了铁法、肥城、滕县、济宁等一批大型的隐伏煤田,确保了国家工业基地建设的需要。②六七十年代。重点在中国东部和中部地区的一些大型煤炭基地组织勘探会战工作。同时,在南方缺煤省区进行了大量的煤田普查与勘探工作。对勘探方法作了一些改革,强调了勘探工作的质量和地质研究程度。③80年代以来,中国煤田地质勘探转为以勘探隐伏煤田为主,勘探难度越来越大。与此同时,随着矿井机械化采煤工艺的发展,对地质资料的精度要求日益提高。煤田地质勘探在不断改革勘探方法的同时,积极研制和引进新技术、新方法,应用遥感地质进行区域地质调查;采用高分辨率地震勘探与钻探相结合进行综合勘探,减少钻探工程量,提高地质研究程度,在查明隐伏断层和煤层厚度变化等方面取得明显成效;三维地震勘探试验,进一步提高了勘探精度;应用数学地质方法,已使煤田勘探向定量化方向发展;利用电子计算机自动处理煤田勘探中的各种数据和地质图件,逐步建立了煤田勘探的数据库系统和网络系统,提高了煤田勘探的自动化和信息化程度;新测试技术在煤田勘探宏观和微观定量研究中的广泛应用,提高了煤勘探的研究程度和精度。

从50年代到90年代,全国先后发现和探明了一大批新的煤产地,在此基础上建成了许多重要的煤炭基地。其中主要有:河北的邢台、蔚县矿区,山西的平朔、晋城、霍县、汾西、潞安、乡宁、离柳等矿区、内蒙古的伊敏、霍林河、平庄、准格尔、东胜等矿区,辽宁的铁法、沈北矿区,黑龙江的七台河、双鸭山集贤矿区,江苏的大屯矿区,安徽的淮北矿区,山东的肥城、兖州、济宁、巨野、龙口等矿区,河南的平顶山、永城矿区,四川的攀枝花矿区,贵州的盘江、水城、织金等矿区,云南的昭通矿区,陕西的黄陵、彬长、神府等矿区,甘肃的华亭、窑街矿区,宁夏的灵武矿区,新疆的艾维尔沟、哈密矿区等。同时,在一大批老矿区发现了新的资源,为扩大这些矿区的生产能力,延长其服务年限提供了资源保证。到1991年末,全国累计探明煤炭储量985.6Gt。其中,可供规划煤矿矿井建设利用的精查储量约40Gt。

**国外发展概况** 美国、前苏联、英国、德国、加拿大、南非、印度、澳大利亚等一些主要产煤国家,除前苏联外,在煤田地质勘探方面一般没有全国性的统一标准,但与煤矿开采结合紧密,做法比较灵活。近年来,这些国家都十分重视煤田勘探方法的研究与改革,主要表现为,①勘探工程布置方面,用不均匀的复合勘探

系统代替了均匀的勘探网系统；②用数学地质方法进行煤田地质勘探定量化研究；③对勘探程度的要求不断提高；④重视引进勘探新技术、新方法；⑤强调对矿山开采技术条件的研究，查明“地质险情”，以满足综采工艺的需要。

(赵隆业)

meitian dizhi kantan baogao

## 煤田地质勘探报告 (coal exploration re-

port) 全面反映煤田地质勘探工作最终成果的重要技术文件。它是在不同地质勘探阶段完成勘探设计中规定的相应地质任务之后，根据各种勘探工程所取得的资料，经过系统整理和综合研究编写而成，一般由文字报告、附图、附表及附件组成。

编制地质报告的目的，一是为煤矿企业的设计、建设、生产和进一步勘探提供必需的地质依据；二是为煤田地质科学研究提供必要的基础资料。地质报告的文字内容和图、表既要满足设计、生产部门的需要，又要客观地反映勘探程度。文字报告必须简练、重点突出、依据充分、结论明确；图、表要做到内容齐全、数据可靠、编制正确、规格统一。按勘探阶段不同，煤田地质勘探报告分为：找煤地质报告、普查地质报告、详查地质报告、精查地质报告、以及特定条件下的普终地质报告、详终地质报告。

**找煤地质报告** 在找煤工作结束后，为反映找煤区地质和煤炭资源状况并对工作区有无进一步工作价值作出评价而提交的地质报告。它是编制普查设计的依据。

**主要内容** 包括文字报告、附图、附表三个部分(见普查地质报告)。

**审批程序** 找煤地质报告提交后，经勘探队初审后报省、市、自治区煤田地质局审批。

**普查地质报告** 在普查工作结束后，为反映普查区地质和煤炭资源状况并对普查区有无进一步勘探价值作出评价而提交的地质报告。它是煤炭工业远景规划和编制详查勘探设计的依据。

**主要内容** 包括文字报告、附图、附表三个部分。

**文字报告**

(1) 概况，包括目的和任务，位置和交通，自然地理，矿井及小窑，以往地质工作；

(2) 勘探工作，包括勘探方法，勘探工程及质量评述；

(3) 地层，包括区域地层、普查区地层；

(4) 构造，包括区域构造，普查区构造，岩浆活动；

(5) 煤及其它有益矿产，包括煤层、煤质、其它有

益矿产；

(6) 水文地质及其它开采技术条件，包括区域水文地质概况，普查区水文地质条件，其它开采技术条件；

(7) 储量计算，储量计算范围及指标，计算方法，储量级别划分，储量计算结果；

(8) 结论，普查成果评价，资源远景评价，下一步工作建议。

**附图**

(1) 区域地质图(附地层综合柱状图及地质剖面图)，比例尺 1:50000~1:200000；

(2) 普查区地形地质图(含水文地质)，比例尺 1:25000或 1:10000；

(3) 普查区地层综合柱状图，比例尺 1:500~1:1000；

(4) 岩煤层对比图，比例尺 1:200~1:1000；

(5) 勘探线剖面图，比例尺 1:5000；

(6) 煤层底板等高线及储量计算图，比例尺同普查区地形地质图；

(7) 钻孔柱状图，比例尺 1:200~1:500。

**附表**

(1) 工程测量成果表；

(2) 煤层综合成果汇总表；

(3) 煤质分析成果汇总表；

(4) 储量计算汇总统计表。

**审批程序** 普查地质报告提交后，经勘探队初审后报省、市、自治区煤田地质局审批。

**详查地质报告** 在详查勘探工作结束后，为反映勘探区地质及煤炭资源状况而提交的地质报告。它是矿区总体设计和编制精查勘探设计的依据。

**主要内容** 包括文字报告、附图、附表三个部分，具体内容参照精查地质报告编制提纲。

**审批程序** 详查地质报告提交后，经省、市、自治区煤田地质局初审，报省、市、自治区煤炭局(厅)审批，审批时邀请或会同地方矿产储量委员会共同审查。审批结果及时报中国煤田地质总局备案，并同时报地方储委和全国储委。

**精查地质报告** 在精查勘探结束后，为反映井田地质和煤炭资源状况而提交的地质报告。它是矿井设计的依据。

**主要内容** 包括文字报告、附图、附表三个部分。

**文字报告**

(1) 概述，包括目的和任务，位置和交通，自然地理，矿井及小窑，以往地质工作；

(2) 勘探工作，勘探方法，勘探工程及质量评述；

(3) 井田地质，包括地层、构造、火成岩；

(4) 煤层, 包括含煤性、可采煤层、煤层对比;

(5) 煤质, 包括物理性质、煤岩特征、化学性质、可选性及工艺性能、煤类、风化和氧化、煤质及工业用途评述;

(6) 水文地质, 包括区域水文地质概况、井田水文地质条件、充水因素分析、矿井涌水量预算、供水水源;

(7) 其它开采技术条件; 包括生产矿井(露天)开采技术条件、岩石工程地质特征、瓦斯、煤尘和煤的自燃趋向、地温、环境地质;

(8) 储量计算, 包括储量计算范围及指标、计算方法、储量级别划分、储量计算结果以及剥离量计算(露天开采);

(9) 其它有益矿产, 包括各种有益矿产的赋存情况, 并评述其利用的可能性, 提出下步工作意见;

(10) 结论, 包括勘探成果评价、煤炭资源技术经济评价, 提出在矿井设计和建设中应当注意的问题和建议。

#### 附图

(1) 区域地质图(附地层综合柱状及地质剖面), 比例尺 1:50000~1:200000;

(2) 区域水文地质图(区域水文地质条件简单时, 可与区域地质图合并), 比例尺同区域地质图;

(3) 井田地形地质图(隐伏区为基岩地质图), 比例尺 1:5000~1:10000(露天开采用 1:2000~1:5000);

(4) 井田水文地质图(水文地质条件简单的井田, 可与井田地形地质图合并), 比例尺同井田地形地质图;

(5) 井田地层综合柱状图, 比例尺 1:500~1:1000;

(6) 岩煤层对比图, 比例尺 1:200~1:1000(当煤层层数少、间距大、对比标志明显、在勘探线剖面图上可以看清对比关系时, 可以少做或不做);

(7) 勘探线剖面图(含走向剖面图), 比例尺 1:2000~1:5000;

(8) 水文地质剖面图(水文地质条件简单时, 可与勘探线剖面图合并), 比例尺同勘探线剖面图(第四系剖面图的比例尺可适当放大);

(9) 煤层底板等高线及储量计算图, 比例尺同地形地质图。当煤层倾角大于 60°时, 应附煤层立面投影图或立面展开图;

(10) 钻孔柱状图, 比例尺 1:200~1:500。附简易水文地质观测曲线、测井曲线及解释成果;

(11) 抽水试验综合成果图;

(12) 地震时间剖面图。

#### 附表

(1) 测量成果表(包括控制测量及工程测量);

(2) 煤层综合成果汇总表;

(3) 煤质分析成果汇总表;

(4) 煤的可选性试验及工艺性能试验成果汇总表;

(5) 抽水试验成果汇总表;

(6) 水质分析成果汇总表;

(7) 煤岩鉴定成果汇总表;

(8) 岩石及煤的物理力学性质试验成果汇总表;

(9) 储量计算及汇总统计表。

**审批程序** ①一般精查地质报告提交后, 由省、市、自治区煤田地质局初审, 并写出送审意见书, 报省、市、自治区矿产储量委员会审查批准。②大型井田精查勘探项目和国家重点精查勘探项目精查地质报告提交后, 由省、市、自治区煤田地质局初审, 并写出送审意见书, 报全国矿产储量委员会审查批准。

**普终地质报告** 因地质构造复杂、煤层不稳定, 用 250m 的基本线距最高只能计算 C 级储量的井田, 以普查为最终勘探阶段, 在普查(最终)工作结束后, 为反映该区地质和煤炭资源状况而提交的地质报告。它可作为小型煤矿或地方小煤矿设计的依据。

**主要内容** 包括文字报告、附图、附表三个部分, 具体内容参照精查地质报告编制提纲。

**审批程序** 普终地质报告提交后, 由省、市、自治区煤田地质局初审, 并写出送审意见书, 报省、市、自治区矿产储量委员会审查批准。

**详终地质报告** 因地质构造复杂、煤层不稳定, 用 250m 的基本线距最高只能计算 B 级储量的井田, 以详查为最终勘探阶段, 在详查(最终)工作结束后, 为反映该区地质和煤炭资源状况而提交的地质报告。它可作为小型煤矿或地方小煤矿设计的依据。

**主要内容** 包括文字报告、附图、附表三个部分, 具体内容参照精查地质报告编制提纲。

**审批程序** 详终地质报告提交后, 由省、市、自治区煤田地质局初审, 并写出送审意见书, 报省、市、自治区矿产储量委员会审查批准。

(艾树勋)

meitian aizhi kantan jiben tuzhi

**煤田地质勘探基本图纸** (principal maps of coal exploration)

反映勘探区地质构造形态、煤层空间位置、煤炭资源及其开发条件基本情况的图纸。主要包括井田交通位置图、区域地质图(附地层综合柱状及地质剖面)、区域水文地质图、井田地形地质图、井田水文地质图、井田地层综合柱状图、岩煤层对



比图、勘探线剖面图、水文地质剖面图、煤层底板等高线图、储量计算图、钻孔柱状图、抽水试验综合成果图、地震时间剖面图等。上述图纸是煤田地质勘探最终成果的反映,是提交地质报告的基本图纸,也是煤矿设计、建设和生产部门所必须的基本图纸。

**勘探区地形地质图(附勘探工程布置图)** 表示勘探区的地形、地物、地层、煤层、标志层的分布,岩、煤层的产状变化以及地质构造特征和各类勘探工程情况的图件。它是煤田地质勘探和煤矿生产的基本图件之一,既是勘探工程布置的底图,又是编制勘探线剖面图和煤层底板等高线图的基础。煤矿设计部门根据地形地质图选择运输、供水、供电线路和井口、工业广场、基本建筑位置,设计农田、环境保护方案。煤矿生产部门用它来编制井上、下对照图,研究地形、地物及地表水体对开采的影响和开采后地表塌陷对地面建筑物的影响以及进行整个矿区和煤矿的建设布局等。

**主要内容** 一般包括图面设计、地形地物、地质界线和勘探工程等四个方面。

(1) 图面设计。上有图头、比例尺,下有图例、责任图签,并标明勘探区的边界线。此外,根据地质特征及图面情况,可附勘探区地层综合柱状图,比例尺为 $1:500\sim 1:1000$ ;1~2条有代表性的勘探线剖面图和走向剖面图,比例尺为 $1:5000\sim 1:10000$ 。

(2) 地形地物。包括坐标网、指北线、地形等高线,地面建筑物、构筑物,道路,河流,地表水体及最高洪水水位线等。

(3) 地质界线。各种地质体的界线,包括各时代地层和含煤岩系的分组、分段界线,煤层及主要标志层露头线,褶曲轴线,断层线,不整合线和火成岩分布范围界线等。实测界线用实线表示,推测界线用虚线表示。对于成层很薄的煤层和主要标志层,无法按比例填出其界线时,可适当夸大表示。各种地质体还要标注其名称、代号及产状。

(4) 勘探工程。包括全部勘探钻孔、坑探工程(探槽、探井、探硐等)、主要地球物理测线以及生产矿井、老窑、取样点及河流、泉水观测站等。

**精度要求** 根据煤炭工业部1979年颁发的《1:50000、1:25000、1:10000、1:5000地质填图规程》规定,地质填图的精度要求如下:

(1) 1:50000地质填图。了解地层层序,填图单位为“组”;确定含煤地层时代和分布范围,初步了解含煤岩系厚度、含煤层数和煤层厚度;了解地质构造形态,初步查明地层断距大于100m或出露长度大于1000m的断层的地面位置;初步查明长度大于2000m的褶曲轴的地面位置;初步了解火成岩的种类、名称和

大致出露范围。

(2) 1:25000地质填图。详细划分地层,填图单位为“段”;确定含煤地层时代和分布范围,详细了解含煤岩系厚度,初步了解可采煤层层数、层位、厚度、结构及可能的变化情况;了解地质构造形态,初步查明地层断距大于50m或出露长度大于500m的断层的地面位置;查明长度大于1000m的褶曲轴的地面位置;了解火成岩的名称和时代,确定其地面分布范围。

(3) 1:10000地质填图。详细划分地层,含煤地层填图单位为“段”或“亚段”;详细研究岩、煤层对比,查明可采煤层层数、层位、厚度、结构及其变化情况;初步查明地质构造特征,查明地层断距大于30m的断层及长度大于200m的褶曲轴的地面位置及性质;初步查明火成岩的时代、种类、名称、产状及地面出露范围。

(4) 1:5000地质填图。详细划分地层,含煤地层填图单位为“段”或“亚段(带)”;详细研究岩煤层对比,查明可采煤层层数、层位、厚度、结构及其变化规律;查明地质构造特征,查明地层断距大于20m的断层及出露长度大于100m的褶曲轴的地面位置及性质;初步查明火成岩的时代、种类、名称、产状及地面出露范围。

**绘制方法** 地形地质图是利用地质填图方法,对地表地质现象进行全面、系统的观测和研究,并结合各类勘探工程(包括坑探、钻探、物探等)以及小窑调查所获得的资料,经综合研究编制而成。各种比例尺地质图的绘制方法是,先编制地质填图设计,然后实测地层剖面、施工坑探工程、进行小窑调查、填绘地质草图、地质工程测量。

(1) 编制地质填图设计。根据上级下达任务,收集测区及邻区的以往资料,并进行野外踏勘,详细测制地层剖面,确定填图单位,编制地质填图技术设计。设计内容包括:地质填图的目的任务、测区地质概况、工作要求、工作方法和工作量等,并附必要的图件。

(2) 实测地层剖面。实测地层剖面根据其性质分为:①全层实测地层剖面。对测区内出露的全部地层进行详细分层和研究,剖面方向应尽量垂直于地层走向,测区内不少于1~2条。②重点层段实测地层剖面。侧重于对含煤岩系及其上覆500~700m地层进行分层和研究,其间距见表1。

(3) 坑探工程。包括探槽、探井、探硐等。探槽按其性质分为①主干槽(通槽),用于揭露整个含煤岩系,其间距见表1。②短槽(追索槽),用于揭露含煤岩系的某一部分或追索煤层露头和地质构造。

(4) 小窑调查。对测区内所有生产矿井和老窑进行



观测、编录。以全仪器法测绘巷道图,圈出采空区范围。测制石门地质剖面 and 煤层柱状图,了解地质构造和煤层厚度、结构及其变化情况。

表1 重点层段实测地层剖面和主干槽间距表

| 比例尺<br>间 距          | 1:50000   | 1:25000   |
|---------------------|-----------|-----------|
| 重点层段实测地层<br>剖面间距(m) | 6000~8000 | 4000~6000 |
| 主干槽间距(m)            | 2000      | 1000      |
| 比例尺<br>间 距          | 1:10000   | 1:5000    |
| 重点层段实测地层<br>剖面间距(m) | 2000~4000 | 1000~2000 |
| 主干槽间距(m)            | 500~250   | 250~125   |

(5)填绘地质图。根据勘探区地质构造复杂程度和煤层发育程度不同,一般精查阶段为1:5000或1:10000;详查阶段为1:10000或1:25000;普查阶段为1:25000或1:50000。地质填图观测点分为基本观测点和测图观测点两类。①基本观测点。在填绘地质草图时,为控制基本构造形态和地质界线而布置的观测点。在基本观测点上要作详细观测记录。②测图观测点,又称加密观测点,在用仪器实测基本观测点时,为进一步控制构造形态和地质界线,并满足观测点的密度要求,在基本观测点之间沿地质界线加密布置的观测点。在测图观测点上只作简要的描述记录。

不同比例尺地质图的填绘方法和要求:①1:50000地质填图。基本方法为系统的路线观测法,观测路线的布置以穿越法为主,追索法为辅,地质观测点用半仪器法定点。②1:25000地质填图。采用基本观测点方法填绘地质草图,追索法和穿越法同时并用。重要观测点用全仪器法测定;非含煤岩系的地层界线点、一般构造点,用半仪器法测定。③1:10000和1:5000地质填图。采用基本观测点方法填绘地质草图,所有观测点均用全仪器法测定。

(6)地质工程测量。1:25000和1:10000地质填图地质点的测量,应达到同比例尺地形测量地物点的精度;1:5000地质填图的图根点控制测量及地质工程测量的方法和精度,应符合原国家地质总局制定的《1:1000、1:2000、1:5000比例尺地形、地质工程测量规范》的规定。

**岩煤层对比图** 将各种勘探工程所揭露的岩、煤

层资料,绘制成对比柱状图,按照一定规则排列起来,然后将同名煤层、标志层、地质界线用直线连接起来,用以反映勘探区内煤层赋存层位、对比关系以及煤层厚度、结构、层间距等变化规律的一种综合性图件(下页图)。它是煤田地质勘探的基本图件之一,是编制地层综合柱状图、勘探线剖面图和煤层底板等高线图的基础,其可靠程度直接关系到其它基本图纸的正确性及最终勘探成果的质量。特别是在地质构造复杂、煤层数较多,且标志层不明显的地区,岩煤层对比更是一项十分重要的基础地质工作。

#### 主要内容

(1)图面设计。上有图头、比例尺,下有图例、责任图签。对比柱状的比例尺一般为1:500或1:1000,水平比例尺一般不作要求。

(2)图中绘有勘探区内所有勘探工程的对比柱状图,并标有工程编号,标志层,煤层编号、厚度、结构以及化石层位、结核、包裹体等。

(3)图的左(右)侧或两侧,画有勘探区含煤岩系综合柱状图或标准柱状图,作为对比基准。

(4)图中各对比柱状的同名煤层、标志层和地层分界线的对比连线。

**编制方法** 岩煤层对比图的编制工作必须随着勘探工作的不断深入而及时进行。

(1)选择基准线。选择勘探区内主要煤层或标志层作为对比基准线。它最好选择在含煤岩系中部,用一水平线表示。

(2)排列对比柱状。以基准线为标准,将绘制好的各对比柱状按一定的方向和顺序(沿走向或沿倾向)排列起来。力求做到相邻柱状在平面上的距离最近,以便更好地研究岩煤层在空间上的变化规律。

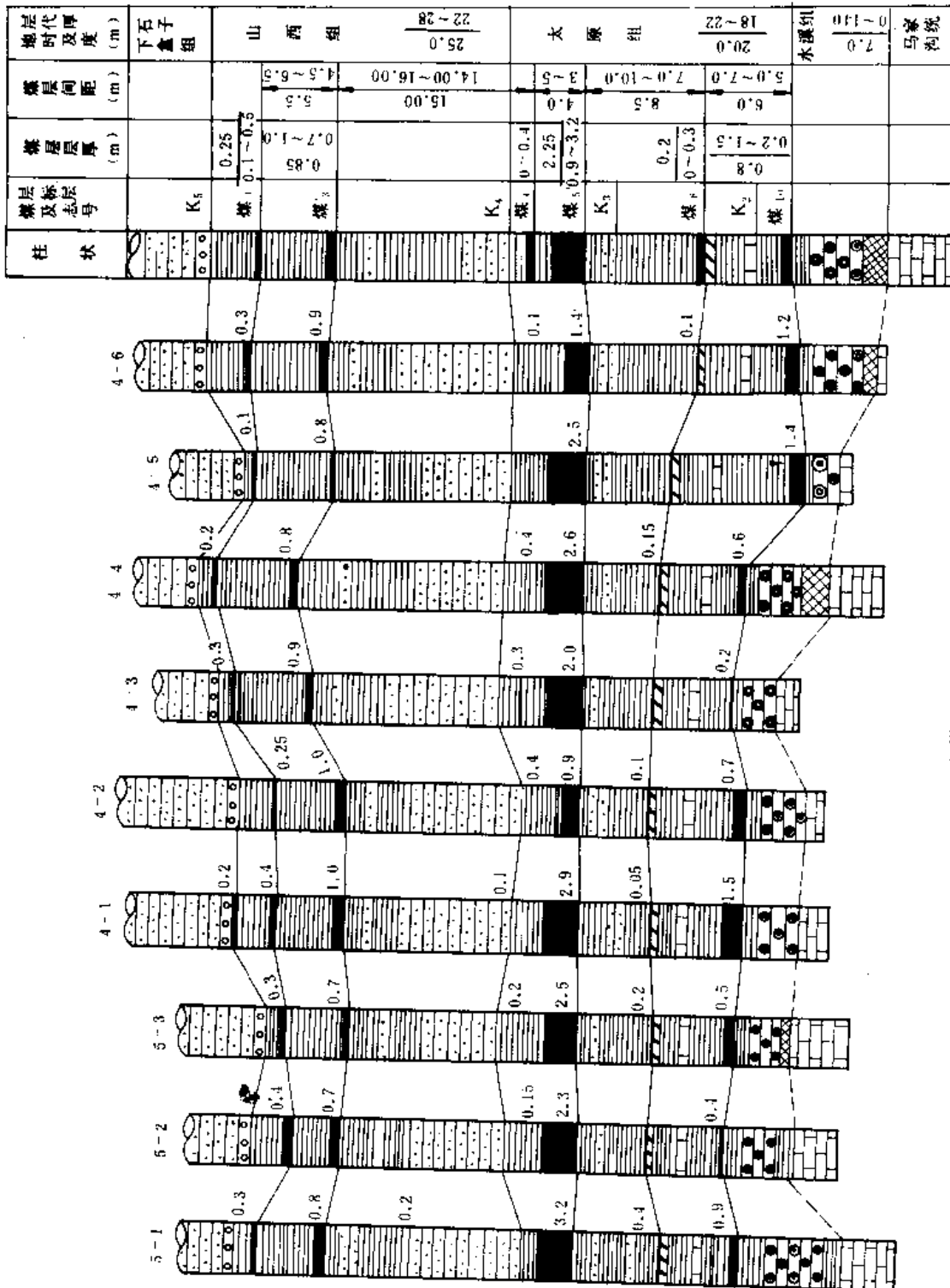
(3)确定对比标志。岩煤层对比工作以野外地质观察为基础,先充分搜集对比标志,包括岩性、岩相、煤层、层间距、古生物特征、结核、包裹体以及测井曲线等的特征,然后进行室内的综合研究、分析对比,并进行一定的鉴定和化验工作,确定岩煤层对比标志。

(4)对比连线。先将各同名地层界线,含煤组、段界线,主要煤层及标志层连结起来,再连结其它标志层和煤层。对比可靠连实线,依据不充分的连虚线。

(5)编制含煤岩系综合柱状图。根据勘探区内所有勘探工程编制的柱状进行统计分析、综合对比编制而成。

**勘探线地质剖面图** 根据勘探线上各种勘探工程沿铅垂切面方向编制的、反映勘探线方向地质构造和煤层赋存情况的地质断面图。它是煤田勘探最基本的图件之一,既是编制煤层底板等高线图的基础,又是编

综合柱状图



岩煤层对比图

制煤层立面投影图和水平切面图的主要依据。有时,它还可直接用来进行储量计算,是垂直断面法计算储量的底图。

勘探线剖面图同时也直观地反映了对勘探区地质构造和煤层的勘探程度和研究程度。勘探线剖面图,在煤田勘探阶段是“三边”工作的基本图件,在施工中可用来分析地质构造,确定钻孔开孔层位、见煤深度、终孔层位并作为编制和修改钻孔预想柱状图的主要依据;在煤矿设计中是研究地质构造的主要图件之一,还据以选择井口位置,确定水平划分,选择井底车场位置、斜井剖面、集中运输大巷布置的层位、石门剖面;在煤矿生产中是布置上、下山和溜眼等重要巷道的依据。

#### 主要内容

(1) 图面设计。上有图头、比例尺,下有图例、责任图签。剖面图的方向一般是南西在左,北东在右;北西在左,南东在右;老地层在左,新地层在右,以便于与平面图对照阅读。剖面图的比例尺通常比平面图大一級。根据地质构造复杂程度和煤层发育程度的不同,一般详、精查阶段为1:2000或1:5000,普查阶段为1:5000或1:10000。

(2) 勘探线剖面所切过的全部地形、地物。包括地形线,主要建筑物(村、镇)、主要地表水体(河流、湖泊、水库)以及主要交通线路(铁路、公路)等。

(3) 勘探线剖面所切过的全部勘探工程。包括钻孔、探槽、探井以及小窑、生产矿井等,并注明其编号和深度。

(4) 各种地质界线。包括各时代地层名称及界线,标志层、煤层编号及厚度,断层编号、性质、倾角及落差。

(5) 标出小窑、生产矿井、巷道位置和采空区界线,以及煤层风、氧化带深度,冲积层下防水煤柱的底界线。

(6) 井田边界线、水平标高线、坐标网位置及剖面方向等。

#### 编制方法

(1) 确定图幅大小。剖面线的长度在地形地质图上量得,图的宽度要超过勘探区边界和储量计算深度。

(2) 绘制水平标高线。一般先画最低水平标高线,再按每50m或100m高差画一根水平标高线。对于±0水平、第一水平、深部边界水平等特定标高线,可着色或画粗线标出。

(3) 确定剖面基线和辅助基线。一般选择在剖面中部且与剖面直交或近于直交的纵坐标或横坐标作为剖面基线,并标记数字,编、审、校过程都按基线统一量

尺。当剖面较长时,可在基线两侧设置三棱比例尺整倍数的辅助基线,并加以注记。

(4) 绘制地形、地物。根据地形地质图或实测剖面图绘制地形、地物。

(5) 投绘勘探工程。以剖面基线或辅助基线为基准,将勘探线所切过的全部勘探工程投绘到剖面上,对于弯曲钻孔和偏离剖面的钻孔要进行投影校正。然后标出孔号、孔口标高、见基岩深度、各煤层编号、底板深度、煤层厚度及结构、终孔深度等。

(6) 填绘地质界线。地层天然露头及槽探、井探、老窑及生产小窑所揭露地层的产状及界线,构造线,不整合线、煤层、标志层等,均应根据实测资料在剖面图标出。钻孔中所见岩煤层产状、深度,按钻探实际柱状的假厚和伪倾角在剖面图中画出。

(7) 剖面图的连接。根据岩煤层对比成果,将剖面上各钻孔柱状图(根据钻孔资料编制的地质柱状图)间的地层界线、标志层、煤层按自然产状光滑连接,即完成勘探线剖面图。

(许友志)

#### meition dizhixue

**煤田地质学** (coal geology) 又称煤地质学,运用地质学理论、方法,全面研究煤、煤层、含煤岩系、煤盆地、煤田以及煤成气、煤成油、油页岩和其它共伴生元素、矿产的成因、组成、性质及其分布规律的科学。它是地质学中形成较早的一个分支学科。1927年成立的“国际石炭纪地层大会”(“国际石炭二叠纪地层与地质大会”前身)和1953年成立的“国际煤岩学委员会”,都是为研究广泛赋存于石炭纪、二叠纪地层中的煤炭资源和研究煤质而诞生的。

**研究简史** 煤田地质学作为一门独立学科出现是在19世纪末和20世纪初。然而,其孕育期,则自人类发现和利用煤之时即已开始。从人类开始认识和研究煤至今已逾六七千年,大致经历了人类发现和早期用煤、煤田地质学萌芽、煤田地质学形成、煤田地质学全面发展等四个时期。

**人类发现和早期用煤时期(古代到18世纪)** 从中国沈阳北陵新石器时代晚期(距今约六七千年)新乐遗址考古出土的煤精制品,是中国最早用煤的实物证据。中国战国时期(公元前5~3世纪)的地理名著《山海经》称煤为“石涅”,并记载了几处产地,是中国最早记述煤分布的文献。从中国河南巩县铁生沟西汉(距今约2000多年)冶铁遗址考古出土的煤饼,是中国用煤冶铁和加工型煤最早的物证。从中国河北邯郸市观台镇宋元时期三座炼焦炉遗址的考古发现,证明中

国用煤炼焦至少已有 600 多年历史。

认识煤的物理、化学、工艺性质,是煤田地质学的重要内容之一。中国历代给煤起了多种多样的名称,既表明中国用煤历史悠久,也说明了中国古代对煤质的认识 and 了解。魏晋称煤为“石炭”、“石墨”、“燃石”,是对煤染手、能燃烧的认识;称煤为“黑石脂”和“焦石”,显然是指煤含有沥青质和具有结焦性能。明代宋应星 1634 年所著 1637 年初刊的《天工开物》一书,已有关于找煤、采煤和煤分类的记述,并附有说明煤矿采掘、通风、排气、顶板支护及提升等工艺的插图。书中的煤分类,既有按块度的分类:“明煤”、“碎煤”和“末煤”;按地域的分类:“南煤”、“北煤”,所谓“明煤产北,碎煤产南”;又有按燃烧特性的分类:“炎高”、“炎平”;按用途的分类:“铁炭”、“饭炭”,所谓“炎高者曰饭炭,用于炊烹,炎平者曰铁炭,用于冶铁”。

希腊和古罗马也是用煤较早的国家。希腊学者泰奥弗拉斯托斯约在公元前 300 年所著《石史》一书中,即载有关于煤的性质和产地的记述;古罗马在 2000 多年前也已开始用煤作燃料。

按理,人类用煤起始时间应当比上述时代更早,只是还有待于考古发掘提供直接的证据。

**煤田地质学萌芽时期**(18 世纪后期到 19 世纪末叶) 蒸气机发明引起的产业革命使用煤量大增,19 世纪中期欧洲一些国家成立地质机构,开展了包括煤在内的地质调查工作,采煤工业迅速发展。这一时期,煤主要用作动力燃料;在学术上争论的问题是,煤究竟是有机成因还是无机成因。1870 年左右,人们首次在显微镜下看到煤中有大量植物残骸,这才肯定煤是从植物转变而来的;接着,人们又探讨了成煤植物的堆积方式,主要有“原地生成说”和“异地生成说”之争。稍后,瑙曼(Naumann)论述了近海条件下和远海条件下所形成的煤系及它们的特点。

**煤田地质学形成时期**(19 世纪末叶到 20 世纪初叶) 这一时期正值电力工业兴起,各项工业开始加速发展,钢铁产量急剧增加,煤的副产品回收成功,有机合成工业得到发展等等,大大加速了煤炭工业的发展。为了适应用煤的急需,鲁尔、顿涅茨、阿巴拉契亚等世界著名的几个大煤田都开始了地质调查。这一时期,煤已成为电力、冶金、化工以及其它工业不可缺少的“粮食”。于是,煤田地质学就从地质学的重要分支矿床学以及采矿学这两门学科中独立了出来。煤田地质学在其形成初期的研究内容,主要偏重于煤的成因、性质和煤层、煤系及它们的变化。涉及的重要理论问题有,关于煤的自然演化,植物遗体堆积和沼泽基底沉降保持平衡是泥炭层的形成条件以及 1873 年“希尔特规律”

的提出等。同时,还建立了煤的工业分类、成因分类和岩石类型。在成煤原始物质问题上,发生了“木质素成煤说”和“纤维素成煤说”的争论。1913 年,R. 蒂森(R. Thiessen)和 D. 怀特(D. White)出版了《煤的起源》。1919 年,M. C. 斯托普丝(M. C. Stopes)发表了“烟煤的四种肉眼可见组分”。1924 年,R. 波多涅(R. Potonié)发表《普通煤岩学导论》,奠定了煤岩学学科基础,深化了煤田地质学的研究。1913 年,在第 12 届国际地质大会上,第一次计算了世界煤炭储量。在中国,1913 年,丁文江发表“论中国煤炭资源”。1916 年,叶良辅、谢家荣、王竹泉等将北京西山石炭纪地层命名为“杨家屯煤系”,并将门头沟煤系的地质时代定为侏罗纪。1922 年,中国地质学会成立。这一时期对晚古生代煤系研究有重要贡献的学者和成果有:李四光、赵亚曾对太原系、本溪系及其中䇃科、腕足类化石的研究;袁复礼建立了臭牛沟系;丁文江、俞建章建立了丰宁系;冯景兰、乐森珪建立了寺门煤系;斯行健、潘钟祥对含煤岩系植物化石的研究。1924 年,谭锡畴编绘北京—济南幅 1:100 万地质图并论述了图幅范围内各时代煤炭资源和泥炭分布。1926 年,翁文灏、谢家荣、侯德封绘制了中国煤田分布略图。王竹泉对山西煤田,侯德封对太行山东麓煤田,谭锡畴对北票、淄博等煤田进行了研究。另外,翁文灏、金开英还提出了以“加水燃率”为指标的煤炭分类法。1930 年,谢家荣发表了“煤岩学的几个新方法”并命名了中国特有煤种“乐平煤”。

**煤田地质学全面发展时期**(20 世纪 30 年代以来)

随着工业对煤需要的急剧增加和地质科学的发展,煤田地质学的各个组成部分都得到比较系统的发展,在一些重要问题上形成了不同学派,并进一步发展形成了煤岩学、煤化学等分支学科。这一时期在煤田地质学研究领域内较知名的学者及研究成果主要有 E. 斯塔赫(E. Stach)对煤岩学的研究;M. 泰希缪勒和 R. 泰希缪勒(M. & R. Teichmüller)对煤化作用的研究;C. A. 赛勒(C. A. Syler)在煤分类方面的工作;前苏联学者通过编制煤田地质化学图和煤田预测图,确定煤质、煤层以及含煤岩系的变化规律及其与地质因素的关系,探讨煤在大区域以至全球范围的分布规律,并提出了聚煤带、聚煤中心等概念。

中华人民共和国成立后,在有关高等院校设置了煤田地质与勘探专业,为大规模开展煤田地质勘探和煤田地质科学研究工作培育了众多人才;广大煤田地质勘探人员在全国范围内广泛进行了长期的煤田地质研究工作,积累了丰富的实际资料;多次全国性煤田预测工作不仅总结了我国煤炭资源的分布规律和特点,

而且提高了煤田地质学在中国的研究水平;山西、陕西、辽宁、黑龙江等省多个区域煤田地质专著以及煤田地质学各个研究领域大量论文和专著相继出版;特别是先、后两部《中国煤田地质学》专著的出版,大大丰富了中国煤田地质基础理论,全面、系统地展示了中国在煤田地质学领域内的研究水平,进一步揭示了中国煤田地质规律,为全世界的煤田地质学研究作出了贡献。

**研究内容** 包括对煤本身的研究,主要是煤岩学研究、煤化学研究和成煤作用研究;对煤层的研究;对含煤岩系的研究;对煤盆地的研究;对聚煤规律的研究;对煤、油、气成因联系的研究等。

**煤岩学研究** 用岩石学方法,对煤的物质成分、性质、成因和工艺用途等进行研究。煤是岩石组成复杂、不均一的固体可燃有机岩。它不仅是有机质和无机质的混合体,而且其有机质组分是由结构复杂的植物经复杂的生物化学变化而成,性状多种多样。煤岩学把煤作为岩石,研究其成因、分类、肉眼和显微镜下的组分与岩石类型以及物理性质,同时把煤作为一类矿石研究其工艺性质和加工利用的途径。由于煤中含硫及其它一些有害元素,在用煤过程中会导致环境污染,因而对煤中硫的成因和脱硫方法的研究以及对煤中其它有害元素的研究,也是煤岩学的重要研究内容之一。

随着煤岩学应用的日益广泛,特别是它在煤质评定、配焦研究和油、气勘查与评价方面良好的应用,国际煤岩学委员会(International Commission of Coal Petrology, ICCP)近期相继设立了“煤岩学在炼焦工业中的应用分会”和“煤岩学在油气地质中的应用分会”。运用煤岩学方法研究油页岩和烃源岩等沉积岩中分散有机质而形成了一门新学科“有机岩石学”。它是岩石学的一个分支学科。

煤岩学研究动向包括在石油勘探中应用煤岩进行标准化荧光定量研究;应用煤岩对煤成气和煤成油源岩进行研究;煤岩在环境保护和环境监测中应用的研究等。

**煤化学研究** 用化学方法对煤的成因、组成、结构、性质、分类和反应及其相互关系进行研究,并阐明煤作为燃料和原料利用中的有关化学问题。煤不仅是重要的能源,而且还是宝贵的冶金、化工原料。它含有锗、镓、铀等有益元素和硫、磷、砷等有害元素。煤的类型很多,其碳、氢、氧、氮、硫等元素和挥发分含量不同。化学组成的不同,导致煤的物理、化学、工艺性质和用途各异。通常是通过工业分析(测定煤中水分、灰分、挥发分含量并计算固定碳含量)和元素分析(测定煤中碳、氢、氧、氮元素含量)来研究煤的化学组成

和特性,并结合其粘结性指标和煤岩特征确定煤的类别。

煤田地质学中这些采用化学方法研究煤的内容,已发展成为一门新的分支学科“煤化学”。由于煤化学研究采用的试样都是煤层混合煤样,不考虑由煤的岩石组成的不均一性所导致的变化,因而煤化学与煤岩学研究的相互配合,能更全面地了解煤质,这在配焦、选煤、气化、液化、水煤浆、油煤浆、油水煤浆、型煤的研究中已经加以应用。

**成煤作用研究** 探讨泥炭化作用与煤化作用(包括煤的成岩作用和变质作用)的转变因素、条件、过程及内容,认识煤质的变化和分布规律,进行煤质评价和煤类预测。

成煤作用近期的研究工作,在煤分子结构研究方面,从只研究比较简单、易于溶解的烟煤的分子结构,发展到同时研究泥炭和无烟煤的分子结构,并提出了它们的分子结构模式。这一研究进展,带动了对煤化作用过程中官能团反应机理的研究、区域性煤化作用规律的研究,使煤炭资源得以更合理的开发与利用。惰质组的煤化径迹和“煤级惰质组”已引起人们的关注。煤化作用的研究还被用来解决其它地质问题。

**煤层研究** 对煤层结构、形态、厚度的变化及其成因进行研究。

**含煤岩系研究** 对含煤岩系的岩性、岩相组合,地层划分与对比;聚煤沉积环境模式;含煤岩系沉积相、沉积体系以及煤层和含煤岩系沉积环境对煤质的影响等进行研究。这些,是含煤性预测的重要基础。煤田地质学与沉积学的结合,已形成一个新的分支学科“煤沉积学”。

含煤岩系近期研究工作有应用层序地层学进行含煤岩系研究;从沉积环境研究煤成气储层;结合沉积学、地球化学研究,服务于煤、油、气勘探。

**煤盆地分析研究** 以煤盆地为主体,从演化发展的观点对其进行古沉积环境和古构造相结合的分析,并进行区域大地构造、古气候、海水进退以及煤盆地在古大陆的位置等背景分析。

煤盆地分析的研究动向有煤盆地沉积充填分析(包括层序地层学、沉积体系与沉积体系域分析等),煤盆地构造分析和地球动力学分析以及通过计算机技术进行煤盆地模拟等。

**聚煤规律研究** 在区域地质研究的基础上,运用多种科学手段,从植物演化、气候条件、古地理环境、古构造条件等方面,分析研究煤在地壳中的聚集与分布规律。它是指导寻找与预测煤炭资源的理论基础。

**煤、油、气成因联系研究** 煤成气已成为重要能

源,煤和含煤岩系作为石油的源岩,已为澳大利亚的吉普斯兰、印度尼西亚马哈卡姆以及中国的酒泉西和吐一哈盆地所证实,有的含油岩系中赋存有煤层。煤成油的问题在国际上日益受到重视。鉴于油气的成熟度和煤化作用程度都受控于盆地的沉降史和地热史,有可能作为一种共生的有成因联系的序列进行盆地整体研究。

**研究方法** 包括野外方法和室内工作。野外方法是煤田地质研究的基础,包括地面地质和矿井地质的仔细观察,详细描述记录,有针对性地采集标本并作初步研究,掌握第一手资料。室内工作包括实验测试,绘制图件并进行综合分析。野外和室内工作相结合,运用现实主义原理进行比较研究,得出观点。更应注意运用多学科理论和方法,多种技术手段以及多学科的交叉和相互渗透,促进煤田地质学科的发展。

煤田地质学的发展,是与地质科学的发展息息相关的。从世界范围看,传统地质科学的研究领域在拓宽,正向现代化地质科学发展;中国地质科学也处于这种转变过程,与国际先进水平比还有不小的差距。当前,中国地质科学方面存在的基础性研究较差,创新性、学科交叉不够,以及在研究手段和测试方法上存在差距等问题,在煤田地质研究工作中同样存在。

#### 参考书目

北京地质学院煤田教研室,《煤田地质学》,中国工业出版社,1962。

杨起、韩德馨等,《中国煤田地质学》上册,煤炭工业出版社,1979。

(杨 起)

meitian dianfa kantan

### 煤田电法勘探 (coal electrical prospecting)

根据岩石和煤的电性差异,通过在地面或矿井内测量地下天然或激发电磁场,测定隐伏煤田含煤岩系的分布、研究地质构造和解决水文地质、工程地质等有关地质问题的地球物理勘探方法。其实质是,研究稳定电流场和交变电磁场在地下传播的特性,并根据测定的场来确定反映地壳内岩石物理性质、岩石水动力和热动力状态及岩相状态特征的介质电磁参数。

煤田电法勘探的物理基础是,煤层或煤系与其上覆、下伏岩系之间,或其它探测对象与周围介质之间有明显的电性差异。电性差异越大,探测对象的厚度或体积越大,埋藏越浅,所反映的电性异常就越明显,取得的效果越好。煤田电法勘探所利用的电性参数主要有电导率(或电阻率)、磁导率、自然电场、激发极化电场、介质对电磁波的吸收特性等。

与其它地面物探方法相比,电法勘探具有利用物性参数多、场源装置形式多,观测内容或测量要素多,应用范围广,仪器设备比较简单,工作效率较高等优点,被广泛应用。由于煤炭资源赋存条件和开采技术经济条件等因素的不同,各国投入煤田电法勘探的工作量差异较大,以前苏联和中国使用的方法较多,投入的工作量较大,取得的成果也较多。

**方法分类** 在煤田地质勘探中使用或试验过的电法勘探方法种类达20多种,①按所观测电磁场的场源不同,可分为主动场源法和被动场源法两类。主动场源法借助人工供电产生地下电场或磁场。其供电的强度、波形和延续时间可以人工控制,可根据解决不同地质问题的需要加以调整。被动场源法观测地球表面天然存在的电场或磁场,场源的强度、频率、延续时间等不能人工改变。②按场源的性质不同,可分为直流电法和交流电法两类。直流电法研究与地质体有关的直流电场的分布特点和规律,进行找矿和解决某些地质问题。常用的是电阻率法。虽然近代的数字直流电法仪一般都利用低频交流供电,但其方法理论仍以稳定电流场为基础。交流电法研究与地质体有关的交变电磁场的分

煤田电法勘探常用方法一览表

| 分类        | 方 法   |
|-----------|-------|
| 主 动 场 源 法 | 电阻率法  |
|           | 电偶极法  |
|           | 电偶极法  |
|           | 电偶极法  |
|           | 电偶极法  |
|           | 电偶极法  |
| 被 动 场 源 法 | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
| 其 它 方 法   | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |
|           | 自然电场法 |

布特点和规律,进行找矿和解决地质问题。常用的是频率电磁测深法、无线电波透视法等。③按工作空间位置的不同,可分为航空电法、地面电法、钻孔电法、矿井电法、水上电法等。煤田上应用最多的是地面电法和矿井电法。常用的煤田电法勘探方法见上页表。

### 主要方法的地质用途

**航空电磁法** 将发射和接收线框环绕飞机固定,或分别固定在机翼两端,或由直升机拖吊10m长的探头进行发射和接收。这类方法主要用于大面积快速填图,圈定煤盆地,寻找浅层地下水并圈定咸水和淡水的分布范围等。探测深度一般可达150m(距飞机)。

**电阻率法** 煤田上应用最早、最广泛、效果好的一类方法。①电阻率测深法主要用于掩盖区大面积普查,寻找煤盆地或含煤构造,查明褶曲和断层位置,圈定含煤岩系分布范围,了解含煤岩系基底深度,在条件有利时提供含煤岩系上覆岩系和含煤岩系的厚度资料,是掩盖区普查找煤的有效手段。该方法还广泛用于寻找矿区供水水源和解决矿区防治水的有关问题,用来查明第四系或岩溶裂隙含水层的分布范围、埋藏深度,条件有利时提供含水层的厚度,研究地下水的矿化度等。②各种电阻率剖面法主要用于掩盖区或半掩盖区的地质填图,探查断层,结合电阻率测深探测第四纪占河床、石灰岩岩溶裂隙发育带、老矿采空区等的平面分布位置。在煤层较厚、覆盖层较薄的地区,还可用于追踪隐伏煤层露头位置。20世纪80年代后期,综合使用电阻率测深和电阻率剖面法在煤矿井下探测厚煤层开采后的残留煤厚、煤层下伏石灰岩层的深度及岩溶裂隙发育程度等,取得了较好效果,已在独联体一些国家和中国推广应用。

**频率测深法** 又称频率电磁测深法、电磁频率测深法,包括可控源音频大地电磁法(CSAMT),在高电阻岩层覆盖下进行普查找煤的有效手段。它对高电阻岩层穿透能力强,常用于在推覆体下和火山岩、火成岩下普查找煤。可以确定高阻层下是否有电阻率较低的含煤岩系存在,解释含煤岩系上覆高电阻岩层厚度、含煤岩系的分布范围、埋藏深度和相对厚度以及地质构造情况。也曾用于查明埋藏浅的石灰岩岩溶裂隙发育带,圈出岩溶裂隙发育区。运用不接地线框发射磁场并用线框接收磁场的装置,在用其它方法很难或无法施工的城市、道路和基岩裸露区工作,是该方法的又一优点。

**瞬变电磁法** 在高电阻介质中探测低电阻地质体的有效方法。在煤田勘探中主要用于寻找在高电阻岩层覆盖下的相对低电阻的含煤岩系,查明其分布范围,估算其厚度,了解地质构造情况。并可用于探测有低电

阻特征的断层带位置、充水老窑和采空区范围、陷落柱和埋藏较浅的石灰岩喀斯特裂隙发育情况。

**无线电波透视法** 包括钻孔透视和坑道透视两种方法。①钻孔透视法用于探测两个或两个以上钻孔之间岩溶裂隙的发育程度,为矿区供水或防治水提供钻孔未控制地段的资料。它的主要优点是可以通过已有钻孔的孔间透视,得出这些钻孔之间岩溶裂隙发育情况的三维资料。一般用于煤矿井筒地质情况检查,了解岩溶裂隙水的主要通道,指导水源钻孔或防治水钻孔的布置。②坑道透视法主要用于煤矿井下探测采煤工作面内小断层、陷落柱(无煤柱)、火成岩、透镜状夹石等的位置、形态和分布范围,并可查明煤层变薄带、冲刷带的分布情况。

**地质雷达法** 包括地面地质雷达和矿井地质雷达两种方法。①地面地质雷达法,主要用在露天煤矿,用以查明煤层上覆岩层和煤层的厚度、结构,煤层中小褶曲、小断层的位置和落差。也可用于煤矿工业广场和生活区的浅层工程勘查。②矿井地质雷达法主要用在矿井下,用以探测采掘前方和采煤工作面内有无小断层、夹石、陷落柱、火成岩体等,并确定其位置和分布形态,为采掘工作合理布置和安全生产提供资料。

**激发极化法** 主要用于矿区水源和水文地质勘查,寻找第四系含水层、岩溶裂隙水和断层裂隙水,确定含水层的埋藏深度,估算其厚度,指导水源孔或防治水钻孔的合理布置。也可用于追踪薄覆盖层下的无烟煤煤层隐伏露头位置。

**充电法** 用于追踪薄覆盖层下的无烟煤煤层隐伏露头,在单个水井或钻孔中探测地下水的流向和流速以及圈定充水老窑和采空区的范围等。

**自然电场法** 用于探测薄覆盖层下的无烟煤煤层隐伏露头位置,第四系含水层中地下水的流向及其与地面水的补给关系,探测浅含水层抽水时的影响半径,煤层自燃时活火区的位置、范围等。

**甚低频电磁法和音频大地电场法** 主要用于在薄覆盖区或半掩盖山区进行地质填图,追踪隐伏煤层露头位置,划分地层界线,对比确定断层位置等,以减少槽、井、巷探工程量。此外,它也可用来探测埋藏浅的管道和洞穴。

**中国煤田电法勘探沿革** 中国煤田电法勘探开始于20世纪40年代初期,当时主要在华北个别煤矿用电阻率法作了一些零星试验。由于方法单一,经验不足,未取得好的效果。

1954年,中国煤炭系统组建了第一支煤田电法勘探队。

50年代中期,煤炭系统组建了多支煤田电法勘探





队伍,应用电测深法普查找煤,在安徽、河北、吉林、黑龙江等省发现了一批隐伏煤田。其中,很多现已成为重要的煤炭生产基地。

50年代后期到60年代初,中国试验与推广了多种煤田电法勘探方法。①用电测深法圈定第四系含水层和石灰岩裂隙发育带。②用电剖面法和充电法探测老矿采空区范围。③用自然电场法测定第四系含水层抽水时的影响半径。④用电剖面法在薄覆盖层下探测隐伏煤层露头位置。⑤用自然电场法探测薄覆盖层下的无烟煤煤层隐伏露头位置和煤层自燃时活火区的位置和范围等。这一时期,由于根据探测区的地电特征、探测对象的具体条件,合理选定适用方法,使电法在煤田勘探中的应用范围不断扩大,地质效果日益明显,取得了显著的技术经济效益。

70年代初,中国加强了煤田电法新仪器的研制,研制出了电磁频率测深仪,出版了《电磁频率测深电偶源二层及三层曲线量板》。该方法的应用,为在高电阻的推覆体下、火山岩和火成岩下找煤提供了重要手段。同期还研制出了钻孔无线电波透视仪。70年代初,还开展了用激发极化法寻找地下水的工作,在辽宁元宝山露天煤矿等地取得较好效果,并得到推广。70年代中期,又研制出了坑道无线电波透视仪并在生产矿井逐步得到推广,到80年代已在几十个矿井开展工作,普遍取得较好效果。

80年代,中国煤田电法勘探在引进与研究资料处理先进方法以与技术方面取得了更显著的进展。80年代初,研究完成了电阻率测深法微机一维正、反演程序。其后,又研究出包括数据管理,一维正、反演和绘制断面图、平面图等完整功能的电阻率测深法微机软件系统。80年代后期,完成了用微机进行二维正、反演计算的程序。同期,还研究出了频率电磁测深法微机一维正、反演程序。从而基本实现了主要煤田电法勘探数据处理和成图的微机化。

80年代在用煤田电法勘探继续进行隐伏地区普查找煤的同时,用此法为矿区找水的工作明显增加,最多曾有40%的煤田电法队从事矿区水源和水文地质勘查工作。用音频大地电场法、甚低频法和电阻率剖面法在半隐伏区(主要是山区)进行地质填图的工作也明显增多,形成了煤田电法勘探的三个主要应用领域。

80年代中期以来,煤炭工业部门先后引进与研制了多种直流数字电法仪、防爆直流数字电法仪和交流数字电法仪(可用于大地电磁法、可控源声频大地电磁法、瞬变电磁法)以及相应的数据处理软件。这些仪器都是配带微处理机,精度高,抗干扰能力强。从此,中

国煤田电法勘探仪器进入用带微处理机的数字仪的新阶段。

(黄治平)

meitian shuiwen dizhi

### 煤田水文地质 (coalfield hydrogeology)

在煤田勘探与开采阶段,预测和研究煤矿床开采可能引起的与地下水有关的一系列问题及其发展程度,以及调查和解决这些问题的方法。它是水文地质学的一个分支学科,是由水文地质学、环境地质学和采煤学等有关内容组成的综合性、实用性学科。

煤田水文地质研究应贯穿在地质普查、详查、精查、建井与开采全过程中,并延续到闭矿以后,直到环境基本复原为止。

煤田水文地质包括煤田水文地质勘探、生产矿井补充水文地质勘探、矿区供水水文地质勘探、矿井水文地质、矿井水害防治、矿区环境水文地质等工作。

**煤田水文地质勘探** 指与煤炭资源勘探同时进行的水文地质工作。其主要任务是按资源勘探不同勘探阶段所规定的要求,查明工作区的水文地质条件;分析煤矿充水因素;对煤层开采有重大影响的含水层和断层的富水性,地下水的补给、径流和排泄条件,地下水的化学性质和地下水资源,进行评价;预计矿井未来涌水量;预测可能影响煤层开采的主要水文地质问题;对矿区供水和环境水文地质问题提出建设性的意见。其主要技术手段是水文地质测绘、水文地质钻探、水文地质物探和水文地质试验。其成果主要是为矿井建设和矿井设计提供水文地质基础资料。

**矿井补充水文地质勘探** 指已投产矿井为解决某一项或若干项矿井生产急需解决的水文地质问题而专门进行的水文地质工作。包括查明延深水平或井田扩大区的水文地质条件,预测延深水平或扩大区的矿井涌水量;查明在大型水体、松散含水层或断层带下开采煤层时,水对煤层开采的影响程度,确定安全开采上限和安全防水煤(岩)柱尺寸以及矿井充水和溃沙的条件和可能性;查明可采煤层下伏喀斯特承压含水层的赋存情况及其对煤层开采的影响程度,确定带压开采的可行性或疏水降压开采需降低的水位、释放的水量及影响范围等专门水文地质问题。主要技术手段是水文地质钻探、水文地质试验(抽水试验、放水试验、联通试验)及井上下的各种物探方法。其研究精度较高,直接为矿井开采服务。

**矿区供水水文地质勘探** 指在矿区建设和发展过程中,为解决矿区工业和生活用水而进行的一项水文地质工作。其主要任务是根据矿区人口、工业生产规模

和发展规划,勘探出水质合乎饮用水标准、水量达到需求目标、离矿区近又不受煤矿开采影响、且便于管理的水源地,查明其水文地质条件、开采目的层的分布范围、边界性质和边界类型,对水源地水资源进行科学评价,提出最大开采量和允许开采量的数据、生产井最佳位置和最佳井数以及对水源地水环境保护的意见。主要技术手段是水文地质测绘、水文物探、水文钻探、水文地质试验。

**矿井水文地质工作** 指生产矿井生产期间为保证矿井安全生产而进行的一项经常性水文地质工作。其主要任务是建立井上下水文地质观测点(井上下长期观测钻孔、井下各种出水点);进行定期的长期水位、水量和水质观测,绘制井上、下水文地质专门图件;编制井巷掘进和采煤工作面的预测水文地质说明书及相应图件;预测出水量和可能产生的水文地质问题。对水文地质条件复杂的矿井,还应查明水体下开采的开采上限,确定防水防沙煤(岩)柱尺寸、导水裂隙带高度以及研究松散层底部和风化带含水层、煤层上下岩层承压含水层赋存条件下带压开采或疏水降压开采的可行性;进行井上、下放水试验的工业试验,以及处理和恢复被淹井巷等水文地质工作。其主要技术手段是井下水文地质测绘、井下钻探、井下物探、井下放水试验。

**矿井水害防治** 大水矿井的一项专门性的水文地质工作,主要确定预测有水害危险的可采煤层和采区采取的专门防治水方法和工程技术措施。它包括采取专门性疏水降压,对煤层顶底板隔水层裂隙进行注浆,用帷幕截流或堵塞进水通道,加大井下排水设备能力等防治水工程和技术措施以及改革采煤方法等,以保证矿井安全生产、预防水害的发生。它是一项技术和理论性强、工作难度大、施工费用高,但能确保开采安全和有显著社会和经济效益的研究工作。

**矿区环境水文地质** 运用水文地质学,特别是水文地球化学的基本理论和方法,研究煤矿区自然水文地质环境和人为水文地质环境,预测环境质量和制定防止环境恶化措施。其主要任务是研究和解决由煤矿开采产生的煤矿区内地面沉陷,地下水位下降,地表水枯竭,地表沼泽化和盐碱化,地下水水质恶化,矿区环境污染等环境恶化的原因、趋势以及防治的方法和技术措施,保护和改善煤矿区水文地质环境,协调煤矿开采与矿区环境破坏的矛盾,使采掘既正常、安全,环境破坏又最小并符合环境保护的基本要求。

中国煤田水文地质工作始于中华人民共和国的成立之时,随着中国社会主义建设发展而加强。1952年,中国煤炭工业部地质司设立煤田水文地质管理机构,各煤田地质勘探队随即在煤炭资源勘探各个阶段按规

定进行煤田水文地质的调查和勘探工作。各矿井开展水文地质工作。历年来,特别是80年代以来,治理了大量煤矿地下水患。通过这些工作,中国煤田水文地质工作者,提出了适合中国煤矿水文地质条件的勘探方法,预测矿井涌水量方法、治理各种煤矿地下水患的方法和措施。

(沈文 李义昌)

meitian yuce

**煤田预测** (coalfield prediction) 在研究煤田形成和分布规律的基础上,运用有关学科、探测技术的理论、方法与资料,指出新的含煤区域,并估测其煤炭资源量及煤的质量的工作。它是煤田地质勘探前的一个重要工作环节,为普查找煤和煤田勘探指明地质工作方向。一个国家或一个地域总结性的煤田预测成果,是该国家或该地域的一分完整的煤炭资源基础材料,也是该国家或该地域煤田地质理论和技术水平的全面反映。

**预测方法** 从已知煤矿区(煤田、聚煤区)研究掌握的地质特征、实践经验和煤田形成分布规律,结合待预测区既有的各类地质信息,进行分析、比较,以推测新含煤区及其煤的量和质。其基本工作步骤为:①收集、核实资料;②研究煤田形成和分布规律;③进行煤田预测;④评价煤炭资源。

**预测资料的收集** 对与预测有关的地质资料,包括基本资料、基础资料、探测资料和科学文献等,按照广泛收集、重点深入的原则,予以摘录、影印并登记、编录,以备检索使用,对一些重要的数据或实际材料,作必要的核实。除收集已有的图、文、表资料外,还要采访有关方面具实践经验的人士(包括技术人员、工人、干部等),并记录其提供的有用材料和意见。

**基本资料** 包括已知区的煤炭资源地质勘探报告、矿井地质报告和待预测区的区测报告,以及有关的专题科研报告等。

**基础资料** 主要包括待预测区的地形地质图、地理图等测绘图件及遥感图件。

**探测资料** 主要包括待预测区已有的钻探、物探、化探、煤矿生产井或老窑、专门遥感探测等资料。

**科学文献** 包括有关区域地质、地史、煤田地质、区域构造、大地构造等地质科学的专著、论文和报道,要摘录成卡。

**煤系形成条件的研究** 包括煤系划分对比、煤系形成条件分析、聚煤规律研究等。

**煤系划分对比** 按岩石地层学原则,适当考虑生物地层和年代地层,将煤系划分到组、段;明确各组、

段的岩性、岩相及化石基本特征,顶、底界限及其接触面性质,进行区域及大区对比。煤系对比是研究其形成条件的基础,为便于工作,应制定统一方案,并对有争议之处采取暂行妥善处理。

**煤系形成条件分析** 即恢复原始沉积环境的研究。从观测、研究煤系的各种沉积特征、成因标志来分析其形成时的古地理、古构造、古生物、古气候、古地貌等背景。

**聚煤规律研究** 根据已知区煤系、煤层、煤质的实际分布状况和有关数据资料,结合它们的形成背景进行综合研究,以获得一系列规律性的认识,主要包括煤盆地展布及范围,含煤性的时、空变化,富煤带及富煤中心的位置,煤质(灰分、硫分等)的时、空分布特征等。

**煤田分布规律的研究** 包括剥蚀区与覆盖区煤系赋存情况的研究、区域构造分析、火成岩对煤层的破坏和影响分析等。

**剥蚀区与覆盖区煤系赋存情况的研究** 根据地质发展历史及区域地质特征,认识煤系形成后各期地壳变动对煤系改造的具体表现,明确大范围的煤系剥蚀区以及在新生界或中生代火山岩系覆盖下可能存在的隐伏含煤区。

**区域构造分析** 根据区域地质资料,掌握区域构造特征及煤田所处的构造部位。参考有关构造地质学论著,研究煤田及含煤区段遭受改造的过程及机理。

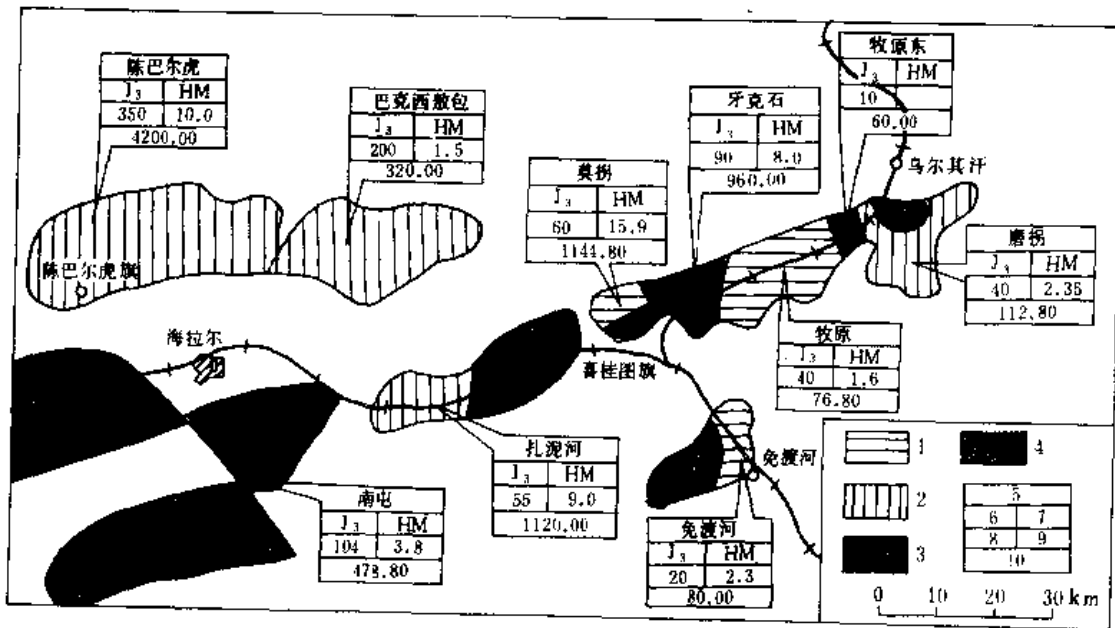
**火成岩对煤层的破坏和影响分析** 首先要区分开成煤期前、后形成的火成岩体,进一步研究成煤后火成岩体的岩性、产状及其对煤层与煤质的破坏和影响等情况。

**煤变质规律的研究** 一方面,依据已有的实际资料、数据,编绘煤种分布、反射率分布、挥发分等值线等反映煤变质程度的图件;另一方面,在对成煤期后构造变动中煤的埋藏(深度、时限)、抬升(幅度、期次)、受热(地温、岩浆等热源)、受力(构造、岩浆侵入)等情况进行全面分析后,确定煤变质作用类型并据此指明煤变质规律。

**新煤区的预测** 在地形地质图上进行新煤区的确定。只考虑客观存在可能性,预测依据为其关键。

**预测依据** 根据已掌握的煤田形成与分布规律,在待预测区所收集到的能证实含煤的各种直接或间接的地质信息,主要包括各种地质现象,地质报告,钻探、物探、化探资料,探矿、采矿工程及其遗迹,地貌、地形和遥感影像图片等。

**预测成果** 主要用煤田预测图表示,辅以文字说明及图、表。煤田预测图综合表示煤田预测区(新煤区)位置、范围和基本地质特征,标出各区面积、煤资源量、预测等级、预测深度、成煤时代和煤种等数据、代号(下图)。文字说明包括三方面,①区域地质构造背景和煤田形成与分布规律;②预测依据和煤炭资源量计算;③预测区和煤炭资源评价。在叙述地质构



中国东北区煤田预测图(局部)

1—预测可靠区; 2—预测可能区; 3—预测推断区; 4—探明区及生产区; 5—预测区名称; 6—成煤时代;  
7—煤种; 8—预测面积(km<sup>2</sup>); 9—煤层厚度(m); 10—煤炭资源量(Mt)

造背景时,附平面、剖面、柱状等基础性地质图件;叙述聚煤规律时,附古地理、古构造、古气候、含煤性变化趋势和煤种、煤质变化趋势等分析性图件;在资源量计算时,附煤系横剖面 and 计算平面图。表报主要汇总煤厚、煤质、煤炭资源量等统计数据。

**预测程度** 即预测结果的可信程度。它根据预测依据和对煤田形成分布规律研究深度不同,分预测可靠、预测可能、预测推断三级。

**预测可靠** 可信度高,预测结果和所估算的煤炭资源量可作为普查找煤的依据。

**预测可能** 定性可信度高,定量可信度较低,可作为普查找煤依据,但所估算的煤炭资源量可靠性较低。

**预测推断** 在预告新煤区方面定性地提供参考意见,一般不估算资源量。

通常,在对煤田形成与分布规律研究比较深入、含煤性的区域变化不大的地区,预测依据又比较充分时,可划分为可靠或可能级;在一些含煤性的区域变化大或煤田形成与分布规律研究还不够深入的地区,预测程度不可能高,基本上达不到可靠级,一般以推断级为主,少量达可能级。

**预测结果统计** 对预测区名称、面积、煤炭资源量、煤种、煤质等数据资料,分别按成煤时代、地区、预测程度、计算深度、煤种五种方式予以分类统计,以方便使用和参阅。

(1) 按成煤时代统计。多纪煤田采用。

(2) 按地区统计。大范围预测时采用,可按行政区划或自然地理区划进行。

(3) 按预测程度统计。按可靠、可能、推断三级分别统计。

(4) 按计算深度统计。根据国家对煤炭资源量计算规定的不同深度区间,分别计算、统计。

(5) 按煤种统计。根据国家确定的煤炭品种牌号分别统计,必要时可将某些煤质指标单独统计。

**煤田预测成果的应用** 全国性的煤田预测,将对一个国家煤炭资源的数量、质量、分布、开发条件和开发程度作出全面系统总结,其成果是国家资源的基础资料,是国家制订煤炭开发和工农业建设规划的重要依据。一个地域的煤田预测,可直接为普查找煤和部署勘探工作服务,在新增和扩大煤炭资源的勘探工作中,增强科学预见性,减少主观盲目性,改善勘探工作效果。

**工作概况** 中国于1958年开始开展煤田预测工作。全国性的煤田预测工作至今共进行过五次,其中煤炭系统三次(1958~1959年,1966~1967年,1974~

1980年),地质系统两次(1959年,1982~1989年)。煤炭工业部1980年的煤田预测成果近年来被广泛应用,其中比例尺为1:200万的《中国煤田地质图》和《中国煤田预测图》,是当前煤田地质和煤炭资源的重要基础图件;所统计的中国煤炭资源量,埋深2000m以浅的约5000Gt,埋深1500m以浅的约3800Gt,埋深1000m以浅的约2607.4Gt。1958年前,中国类似于煤田预测的工作主要是编制全国性煤矿分布图和估算煤炭资源量,其中重要的有《中国煤田分布略图》(谢家荣,1926),以及谢家荣(1926),胡博渊、翁文灏(1929),侯德封(1935)和全国矿产储量委员会1949年以来历年全国煤炭储量的统计汇编。

国外的煤田预测,美、英、德、澳等国主要是编制煤田分布图和估算煤炭储量,缺少通过煤田形成与分布规律研究而全面开展的煤田预测工作。苏联的煤田预测工作开展较早,且持续进行,自1941年A. K. 马特维也夫(A. K. Matveev)编制全苏第一张《苏联煤预测概略图》以来,20世纪50~70年代,又全面开展煤田预测工作多次,并且都以研究几个大煤田的形成与分布规律为基础。全苏的煤田预测图件,一般以编制各成煤期的古地理图和含煤性图作为底图,比例尺是1:500万。

**发展趋势** 主要是加强规律性研究和开展技术经济评价。

(1) 随着地质理论和探测手段的发展,重新或深入研究煤田形成分布规律,对一些原来认作“无煤区”、找煤难度大的地区和急需找到煤炭资源的地区,进一步开展预测工作,求得突破。

(2) 开展对煤田预测结果的技术经济评价,使已预测出的客观存在的煤炭资源,经过科学分类,供规划开发利用和地质勘探时加以分别对待,避免因仅考虑资源条件而造成决策上的偏差或失误。

#### 参考书目

王竹泉,《华南晚二叠世煤田形成条件与分布规律》,煤炭工业出版社,1980。

王熙曾、朱榔如、王杰,《中国煤田的形成与分布》,科学出版社,1992。

(王熙曾)

meitian zhongli kantan

**煤田重力勘探** (coal gravity prospecting)

根据地壳内部各种岩石的密度差异所引起的地球重力场局部变化和区域性变化,来研究地质构造,圈定含煤岩系的一种地球物理勘探方法。

煤及含煤岩系中沉积岩、火成岩、变质岩的密度典

型数据如下表。

常用一些常见岩石的密度

| 岩 种   | 密 度 ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ) |      |
|-------|--------------------------------|------|
|       | 范 围                            | 平均 值 |
| 砂 岩   | 1.61~2.28                      | 2.25 |
| 頁 岩   | 1.77~2.59                      | 2.40 |
| 石灰岩   | 1.93~2.90                      | 2.55 |
| 地 核   | 1.10~1.25                      | 1.18 |
| 地 幔   | 1.20~1.80                      | 1.45 |
| 花岗岩   | 1.34~1.60                      | 1.30 |
| 酸性火成岩 | 2.30~2.71                      | 2.61 |
| 中性火成岩 | 2.65~2.77                      | 2.70 |
| 基岩岩   | 2.40~2.70                      | 2.74 |

(资料来源: L. Thomas, 1992)

重力勘探主要用于区域性研究。通常,结晶基底埋藏浅的地区,重力值异常高;巨厚沉积岩分布区,重力值低。测定的重力异常的大小和形态,既与探测对象的形状、定向及埋藏深度有关,又与所涉及不同岩石类型间的密度差有关。进行重力勘探的有利条件是,测区内有反映地质构造形态特点的明显的分界面,密度界面的两侧岩石的密度差不小于 $0.2\sim 0.3\text{g}/\text{cm}^3$ 。

煤田地质勘探中,重力勘探可用于寻找沉积盆地,提供各沉积盆地的总体构造资料。主要用于圈定被新地层覆盖的煤盆地的范围和构造形态,尤其是在黄土分布区、红层掩盖区、火山岩覆盖区下寻找煤盆地。在可剥离深度范围内,还可用高精度重力测量,直接确定煤层内的局部无煤区。在有利条件下,也可用于圈定岩溶陷落柱等。

重力勘探数据,通常要以岩样密度测定值、地质填图成果等其它地质数据作佐证。

**发展概况** 19世纪末,出现了测定重力加速度相对值的振摆仪和能够测定重力加速度沿水平方向变化率的扭秤。20世纪初,将其实际应用于重力勘探。20世纪30年代,研制出能够进行重力相对测定的重力仪,重力勘探得到了广泛应用。目前地面重力仪的精度已达到微伽级( $10^{-8}\text{m}/\text{s}^2$ )水平。20世纪60年代出现的超导重力仪,灵敏度高,稳定性好,基本解决了弹簧重力仪的零点漂移问题。这些新进展,使重力勘探应用范围越来越广,已发展有海洋、地面、航空、井下重力勘探。

中国煤炭工业系统于1957年10月建立第一支重力勘探队,开展普查找煤工作,历年来,在新地层覆盖区下找煤取得显著效果,尤其是在推复体下找煤和探

寻陷落柱方面,发挥了重要作用。

**重力仪** 重力勘探中用以测定重力加速度或重力加速度随地点的变化及其变化率的仪器。重力勘探中仅用相对重力仪,它测定两点或更多点之间的重力加速度差值。

岩石密度差异引起的重力加速度变化值,不足地表重力加速度平均值的数千分之一,某些有开采价值的矿石,甚至不足百万分之一。有时要求重力仪能测出 $10^{-7}\text{m}/\text{s}^2$ 的重力加速度变化值,测值误差应小于 $10^{-8}\text{m}/\text{s}^2$ 。因而,重力仪要有很高的灵敏度和精度,有较大的测程,读数与重力加速度变化之间关系简单,便于计算。

**原理** 相对重力仪是通过测量负载有一个恒重物体的弹簧,在不同重力作用下伸长量的变化来测定重力变化的。这种重力仪按使用的弹簧材料分为石英弹簧重力仪和金属弹簧重力仪。石英弹簧重力仪使用广泛,其测量精度一般为 $3\times 10^{-7}\sim 5\times 10^{-7}\text{m}/\text{s}^2$ 。

**构造** 重力仪一般由灵敏系统、光学系统和测量系统三部分组成。

(1)灵敏系统。感受重力微小变化的机构,由各种弹簧、扭丝、重荷、支杆等组成,又称平衡系统或弹性系统。该系统除重荷和温度补偿丝由金属制成外,其它构件均由石英制成。

(2)光学系统。又称指示系统,是一个高倍长焦距显微镜,其功能是使石英摆杆的指示丝在刻度上成像。

(3)测量系统。由读数装置、测程调节装置和纵横水准器等组成。

**工作方法** 重力勘探根据地质任务和目的,选定测区面积,确定测网疏密程度。测点间距不一,从1m至20km,具体数值通常取决于欲探寻对象的埋藏深度和尺寸大小。

重力勘探采用相对测量方法。先在测区附近选设一个已知绝对重力值的总基点,测量各测点相对于总基点的相对重力值。在面积重力测量时,除设总基点外,在测区内需建立由若干重力基点组成的重力控制网。通过联测,先求出各基点相对于总基点的重力差,再进行一般观测点测量,以减小重力测量的累积误差和便于对重力仪的零点变化进行校正。

重力异常分布表示形式有,①重力异常分布图,又称重力异常等值线图;②重力异常剖面图,它是沿测线或其它方向以距离为横坐标,以重力异常为纵坐标,绘出重力异常变化曲线。

**重力数据的校正** 地面上的重力变化不仅取决于地壳密度的变化,还和地球的形状及其自转有关。将地

球理想化为以大地水准面为其表面的旋转椭球体,假定球体内部密度均匀,通过一个公式计算出的理想球体表面的重力值,称为大地正常重力值。地表实测重力值与正常重力值的差值,称为重力异常。重力异常是地球密度分布不均匀引起的,它取决于测点高程、地形起伏、测点和大地水准面之间物质层(通称中间层)的影响以及地质体的重力变化值。高程校正和中间层校正之和称为布格校正。实测重力值经布格校正、地形校正后减去正常重力值得到的值称为布格重力异常,它反映地下所有地质不均匀体影响的总和,是重力勘探利用的主要异常。

**重力勘探资料解释** 根据实测重力异常资料,分析确定引起该异常的地质原因的工作。它分为定性解释和定量解释两部分。①定性解释。推断引起异常的地质体的形态和范围。②定量解释。确定异常源的具体形状、大小及埋藏深度等。

解释前,一般先要分解重力异常,进行区域校正,区分出区域地质构造形成的区域重力异常。从布格重力异常中减去区域异常背景而突出的局部异常,称为剩余异常,它才是与探测地质体有关的异常。

**定性解释** 根据工作区已知地质资料及岩层密度资料,从地质角度说明异常源在水平面上投影的形态及其密度与围岩的关系。

局部异常平面投影的形态主要有短轴重力高型、短轴重力低型、重力梯级带、重力高带和重力低带等五种。①短轴重力高型。其重力异常等值线呈圆形或接近圆形,中心值比四周高。这类形态形成的可能原因,一是有高密度岩层形成的短轴背斜;二是有低密度岩层形成的向斜,轴部充填高密度岩层;三是在低密度岩层中有中基性岩浆侵入;四是赋存有块状致密金属矿床。②短轴重力低型。其环形重力异常等值线的中心值比四周低。其形成的可能原因,一是有高密度岩层形成的短轴向斜;二是新生代松散沉积物局部增厚;三是有盐丘构造;四是在高密度岩层中有酸性岩浆侵入。③重力梯级带。其重力异常等值线呈密集平行状,异常值向某个方向单调上升或下降。它可能反映断层、拗曲、不同岩层高角度接触带。④重力高带。其重力异常等值线延伸很长或闭合成条带状,中间值高,两侧低。它可能表示,一是有高密度岩层形成的长轴背斜;二是有地垒;三是有古河道砾石层;四是有中基性火成岩岩墙或岩脉。⑤重力低带。重力异常等值线形状如前种类型,但中间值低,两侧高。它可能反映,一是有低密度岩性带;二是有高密度岩层形成的长轴向斜;三是有地堑;四是存在充填有新生代松散沉积物的古河床;五是存在酸性火成岩岩墙或岩脉。

**定量解释** 在定性解释的基础上,确定重力异常源的具体形状、大小及埋藏深度。其方法主要有反演法、选择法和直接法等。①反演法。根据实测曲线特征点的坐标,用公式求产状要素。②选择法。先根据定性解释建立地质模型、给出初始参数,再用量板及计算机确定理论异常,并把它与实测异常进行对比,通过不断修改参数,直到两者吻合,满足解释精度要求为止,其最终参数即为解释成果。③直接法。用积分公式直接对平面异常或剖面异常进行计算,求取地质体产状要素。

(孙文涛 胡丹九)

meitian zuantan

**煤田钻探** (coal drilling) 为探明煤炭资源及其地质情况或其它相关目的所进行的钻探工程。它从地下取出岩(煤)心或岩(煤)屑,供直接观察、分析,在煤田地质勘探中被大量使用。

**任务** 主要是在煤田范围内合理布置钻孔,并按设计要求施工,取出合乎数量和质量要求的岩(煤)心,经鉴定、化验、分析、对比,了解有关煤田(或矿区、井田)的煤层赋存情况和分布规律,煤质和煤炭储量,构造和水文地质条件等,为煤矿设计、建设和生产提供必要的地质和技术经济资料。

**钻孔施工设计** 按照中国煤炭系统现行钻孔施工技术规范,在钻孔施工前必须进行钻孔施工技术设计,并以《钻孔地质技术指示书》的形式下达机台,作为对钻孔施工要求和技术指导的正式文件。为防止钻丢、钻薄煤层,还相应制订地质人员守煤制、见煤预告制等规章制度予以配合。《钻孔地质技术指示书》是一张附有文字说明的图表,由钻孔地质剖面 and 施工技术两部分组成,由勘探队地质人员和钻探技术人员共同编制。由于含煤岩系主要为沉积岩,隐伏的煤层大都埋藏较深,煤层本身或较脆或软而松散,导致煤田钻探复杂化。深孔钻进工艺、煤心采取技术、孔壁维护及终孔后的钻孔封闭等,构成煤田钻探的主要技术内容。对这些方面的要求及应采取的技术措施等,都在《钻孔地质技术指示书》中给予了明确的规定。对重要的钻孔,还另附有专门的钻孔封闭设计。

**钻探施工程序** 包括准备、施工、结束三个阶段。

(1)准备阶段。以地质勘探设计为依据,按施工目的、任务和要求进行钻探施工前的准备工作,包括①确定施工孔位并在实地埋标;②按岩层地质条件和对施工的技术要求,制定《钻孔地质技术指示书》;③选择并准备钻探设备、机具、管材及其它一些消耗材料;④确定钻场设备的布置和安装方式、场房和钻塔封闭的



形式以及地基处理要求,按要求完成设备安装,并经试运转验收。在施工条件较差的地区,有时还要解决交通运输、水电供应等问题。

(2)施工阶段。由开孔直至钻到地质人员认可的终孔层位的工作过程。这一阶段最能体现施工技术水平 and 经济效益的高低。钻场操作人员必须按照设计要求进行钻进和采取岩(煤)心,防止钻孔弯曲超限,进行简易水文地质观测,及时校正孔深和准确、完整地填写有关报表,一旦发现问题,应及时采取补救措施,避免钻孔质量降级或报废。

(3)结束阶段。由钻孔终孔到钻场拆迁的工作过程。煤田钻孔终孔后,都毫无例外地要进行全孔地球物理测井,以验证钻孔质量。必要时还要进行水文观测。当地质主管部门确认已完成钻探任务后,下达《终孔通知书》和《封孔设计指示书》。钻场人员按《指示书》要求进行封孔,经取样检查合格后埋设明标或暗标,提交封孔报告,报请上级单位正式验收、评级,并准备拆迁转往下一钻孔。

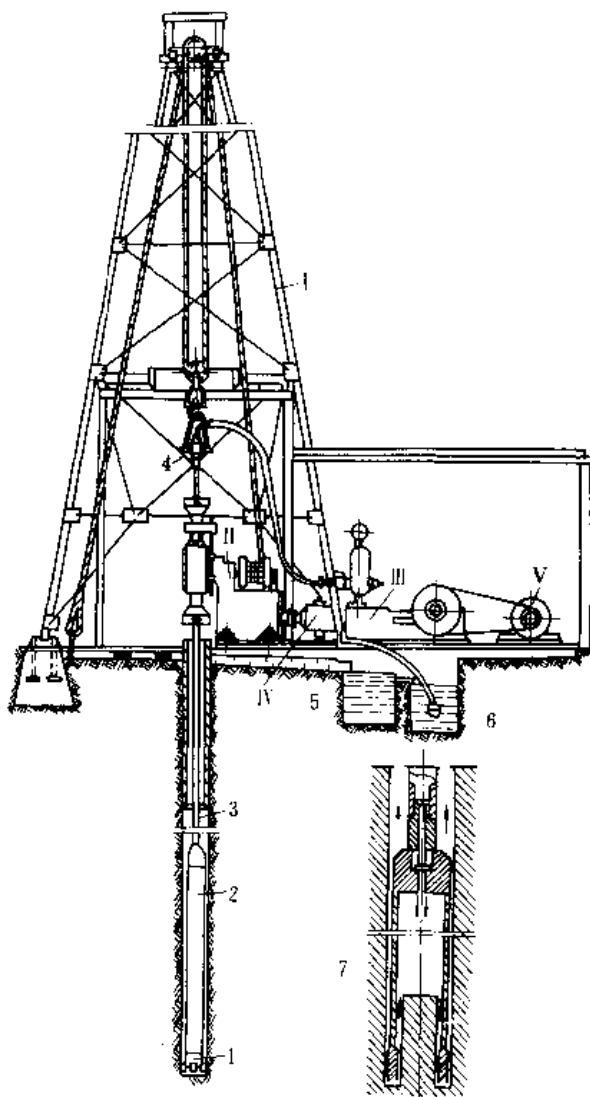
**岩心钻探设备及其工作过程** 岩心钻探设备通常由钻塔、钻机、泥浆泵、动力机及配套钻具等部分组成(见钻探设备)。使用立轴式钻机时钻探设备的组成及其间的配合关系如右图所示。

钻机由动力机驱动,通过钻机立轴的卡盘带动用螺纹连接的空心钻杆、岩心管和钻头组成的钻具回转,同时进行加压,使钻头破碎岩石形成钻孔。冲洗液由泥浆泵从水源箱吸取,经泵室增压后排出,通过连在钻杆上端的水接头和钻具送至孔底,冷却钻头并带走钻下的岩屑,再经钻具与孔壁间的环状间隙上升返回地面,流经沉淀系统沉淀岩屑后回到水源箱,完成循环洗孔过程。每钻入一定深度须加接一次钻杆。上述过程称为钻进工序。由于钻头破岩面为环状,只能钻出环状空间,中间留下来的岩柱称岩心。随着钻孔延深,岩心不断进入岩心管,当岩心充满岩心管或钻头磨钝须更换时,中止钻进,卡取岩心,用绞车将全套钻具逐段提出孔外。取出岩心或更换钻头后再将全套钻具逐一连接送至孔底继续钻进。从钻孔提出和下入钻具的过程称为钻具升降工序。从钻具下入孔内钻进至将其提出的全过程称为回次。整个钻孔就是经过若干个回次的钻进而完成的。

**中国煤田钻探发展概况** 20世纪初,在河南焦作用以蒸汽作动力的回转式岩心钻机和手镶天然金刚石钻头首次进行煤田钻探,培训了第一批中国钻探工人。1910~1930年,在山东枣庄和湖南、广东交界的狗牙洞,安徽宿县的雷家沟,江苏徐州的贾汪,东北的阜新、辽源等地,也进行过煤田钻探。1931~1945年,煤田

钻探主要在抚顺、阜新、蛟河、辽源、营城子、开滦、大同、淮南等地进行。所用的钻机以手把给进的立轴式钻机为主。1940年前后,开始在中硬以下的岩层使用硬质合金钻头,在其它岩层则仍用手镶天然金刚石钻头。1946年在淮南八公山用煤田钻探找煤取得重大成功。随后,当时的资源委员会筹资购置10台美国长年公司生产的新型金刚石岩心钻机及部分配套设备,扩大在淮南煤田的钻探。中国的机械岩心钻探正是从煤田钻探开始的,其发展也与煤田钻探密切相关。

中华人民共和国成立后,根据产业部门的分工,煤炭系统建立了专门从事煤田钻探生产和科研的队伍,并且不断发展壮大。至20世纪90年代初,100多个煤



岩心钻探设备示意图

- I—钻塔; II—钻机; III—泥浆泵; IV—动力机。  
1—钻头; 2—岩心管; 3—钻杆柱; 4—水接头;  
5—沉淀箱; 6—水源箱; 7—岩心



田勘探队完成的钻探工程量已超过 0.7 亿 m, 为国家探明数千万吨的煤炭储量, 开动钻机台数最高时达 1000 多台。在生产管理上, 建立了以煤田钻探规程为核心的一整套规章制度。煤炭系统所属院校中有七所开设钻探专业, 为煤田钻探生产和科研、教学培养大批高、中级技术人材。用于煤田钻探的技术装备已全面更新, 手把式钻机全部被淘汰。在钻探工艺方面, 金刚石绳索取心钻进、冲击回转钻进、泡沫钻进、潜孔锤钻进、受控定向钻进等新技术得到推广应用, 尤其在钻塔活动工作台和液压拧管机的创造, 煤心、瓦斯采取器的革新推广, 坑道钻探和深裸孔钻进技术等方面, 在国内处领先地位。

(赵贵祥)

meixi cengxu diceng fenxi

**煤系层序地层分析** (sequence stratigraphy analysis in coal measures) 用层序地层学的

理论和方法分析研究含煤岩系, 解决等时地层格架内煤系、煤层对比和相对海平面变化对煤系沉积相和煤层形成、分布的控制关系。它是煤盆地分析的新途径。

层序地层学早期的一些概念由美国 P. R. Vail 和 R. M. Mitchum 等从地震地层学研究中提出 (1977)。近几年, 由 J. C. Van Wagoner 系统化, 将地震地层学与沉积学结合起来, 已发展成为沉积学研究的前沿领域, 广泛用于油气盆地和煤盆地分析, 弥补了生物地层和年代地层划分精度的不足, 改变了传统的岩性地层对比模式, 建立了等时地层格架内按沉积体系和体系域的高分辨对比方案, 为区域地层对比提供了新方法, 并提高了地层学和沉积学以及煤地质学的研究水平。

层序地层学是研究一套年代地层格架内重复出现并有成因联系的岩层间相互关系的一门学科。它根据地震剖面、钻井岩心、地球物理测井曲线和地表露头资料及有关沉积环境和沉积相的理论, 对地层叠置型式作出综合解释。其基本观点是认为地层单元的几何形态和岩性, 受盆地构造沉降、海平面波动、沉积物供给和气候四大因素所控制。构造沉降赋予了沉积物的沉积空间; 海平面波动决定了地层和相的叠置型式; 沉积物供给量和速率决定了沉积物的充填情况和古水深; 气候条件则决定了沉积物类型。前三种因素控制了沉积体的几何形态; 构造沉降幅度和海平面变化速率综合起来, 为沉积物可容纳空间系数。

**基本概念** 包括层序、准层序、准层序组、沉积体系、体系域等。

**层序** 层序地层学研究的基本地层单元, 指由不整合面及与之相对应的整合面所限定的一套有成因联系的地层。层序界面之上, 往往是由盆地覆水加深而形成的沉积相。其特征是横向连续、分布广泛, 往往覆盖整个盆地, 甚至在许多盆地内具有等时性。它分隔了层序界面上覆与下伏的地层。层序内基本上是连续沉积的, 仅有一些小的间断面, 可包括若干个沉积体系和体系域。层序形成的时域为数十至数百万年。在地表露头、钻井岩心和测井曲线上可分辨的层序厚度, 可精确到数米至数十米; 但在地震剖面上可分辨的层序厚度往往为数百米。

**准层序** 由海泛面或与之相对应的面所限定的、有成因联系的一组相对整合的层或层系。海泛面是海水加深时在沉积物表面留下的界面, 常伴有微弱的海底侵蚀作用及无沉积期, 可能指示一种较小的沉积间断。准层序内又可区分出层组、层、纹层组和纹层。

**准层序组** 由大的海泛面或与之相对应的界面所限定的一套连续的、有成因联系的准层序组成。准层序有清晰的进积型或退积型、加积型叠置样式 (图 1)。准层序组中准层序的叠置样式, 取决于沉积速率与沉积物可容纳空间增长速率之比值。准层序组的界面可以与层序界面一致。

**沉积体系** 一套有成因联系的沉积相的三维空间组合 (见含煤沉积体系)。

**体系域** 同时期形成的一系列相互接连过渡的沉积体系。主要有低位体系域、海侵体系域、高位体系域和陆架边缘体系域等。

**层序地层学的对比概念** 按层序界面进行高分辨年代地层对比。

大至层序、小至纹层都是沉积岩系的基本构成单位, 它们组成了不同级别的地层单元。除纹层外, 每个地层单元都是由明显的年代地层界面所限定的、有成因联系的地层剖面。每一个界面都是一个物理界面, 将界面上、下的地层隔开。这些界面可根据测井曲线、钻孔岩心和地表露头进行对比, 从而为相分析提供了一个高分辨的年代地层格架。层序界面上、下的岩层之间不存在成因联系。

为了准确解释年代地层格架内岩层的横向变化, 必须对沉积剖面进行相分析, 在各个层序内辨认出沉积体系和体系域。

与传统地层学编制的岩相图相比, 层序地层研究的地层格架的时间间隔更短。至于层序演化的机理, 更强调海平面相对变化的控制作用。

进行区域性的以至整个盆地范围内的地层划分和

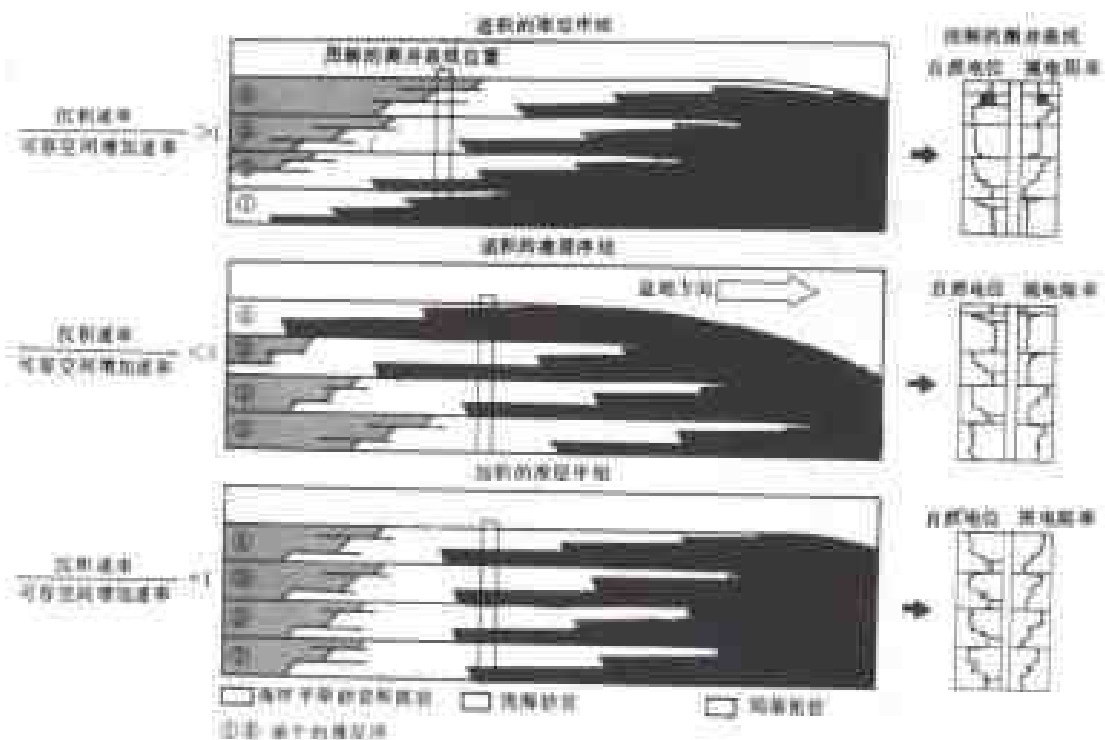


图1 准层序组中准层序的叠置样式在横剖面和测井曲线上的表现  
(据 J. C. Van Wagoner 等, 1990)

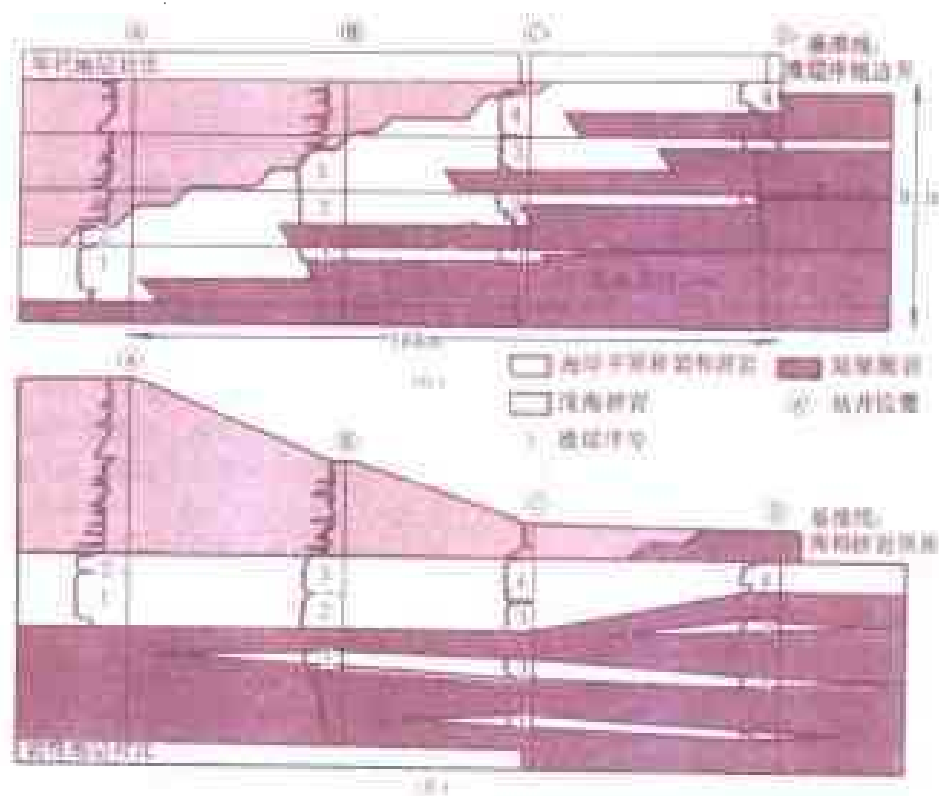


图2 进积型准层序组年代地层对比样式 (a) 与岩性地层对比样式 (b) 的比较  
(据 J. C. Van Wagoner 等, 1990)

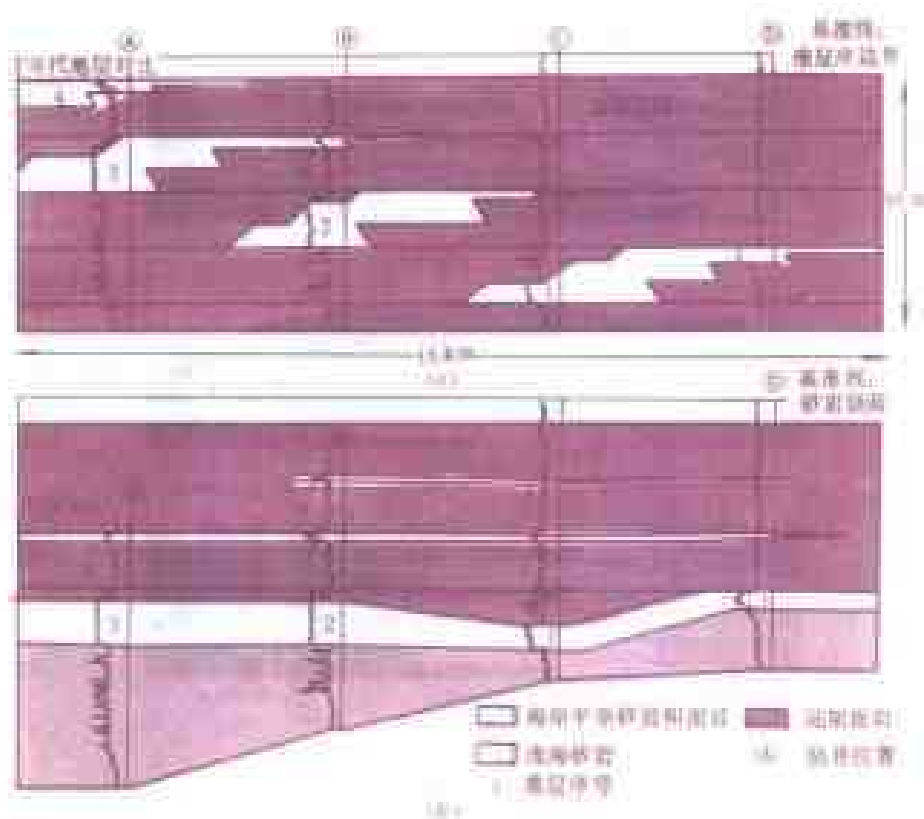


图3 退积型准层序组年代地层对比样式(a)与岩性地层对比样式(b)的比较  
(据 J. C. Van Wagoner 等, 1990)

对比,应用生物化石组合划分的生物地层单元和应用绝对年龄测定划分的年代地层单元,其年代间隔往往较长,难以满足层序地层对比的精度要求。应用标志层区分的岩石地层单元,在大范围内又往往是穿时的。只有根据体系域和关键性界面划分的层序地层单元,才能得出在较短的等时地层格架内较合理的地层对比方案。在一个层序内,划分体系域的界面为最大海泛面;划分准层序的界面为海泛面;其它用于进行横向等时地层对比的关键性层面还有陆上暴露面、小型沉积间断面、水下风暴浪蚀面、海侵冲刷面以及火山喷发和地震等事件地层界面等等。

在进积作用和退积作用的不同情况下,准层序组内按层序地层学原理所作的等时地层对比方案,与传统的按岩性特征所作的地层对比模式有原则性区别(图2、图3),前者强调了沉积物向盆地进积和海岸后退的退积情况下相变的概念,是沉积学和地层学对比概念的革新。

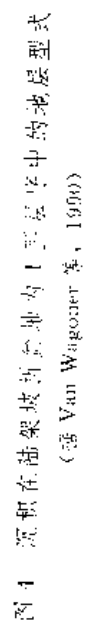
**层序的类型** 根据层序边界之间沉积体系域内地层的三维空间配置关系和不整合面的类型,可将层序

划分为 I、II 两种类型。

**I 型层序** 形成于大陆架上沉积滨线坡折处海平面下降速率超过盆地沉积速率,产生海平面相对下降的情况下。沉积滨线坡折位于大陆架地形发生坡折的地方,其向陆一侧沉积面位于基准面(通常即海平面)附近;向海一侧沉积面则低于海平面(J. C. Van Wagoner, 1988)。这一位置大致与三角洲的河口坝向海进积的终点或海滩环境的上临滨位置相符合。

I 型层序内可区分出低位、海侵和高位三个体系域。层序内体系域的分布,在一定程度上取决于沉积滨线坡折和大陆架坡折之间的关系。大陆架坡折是指盆地内大陆架与大陆坡之间的转折处,其向陆一侧大陆架的坡度小于  $1/1000$ , 约小于  $0.5^\circ$ ; 向海一侧大陆坡的坡度小于  $1/40$ , 约  $3^\circ \sim 6^\circ$ 。许多盆地当海平面相对下降时,沉积滨线坡折在从大陆架坡折向陆一侧  $160\text{km}$  左右的位置上。另一些盆地高位体系域已经进积到大陆架坡折处,当海平面下降时,沉积滨线坡折可达到大陆架坡折处。

**II 型层序** 形成于沉积滨线坡折处海平面下降速



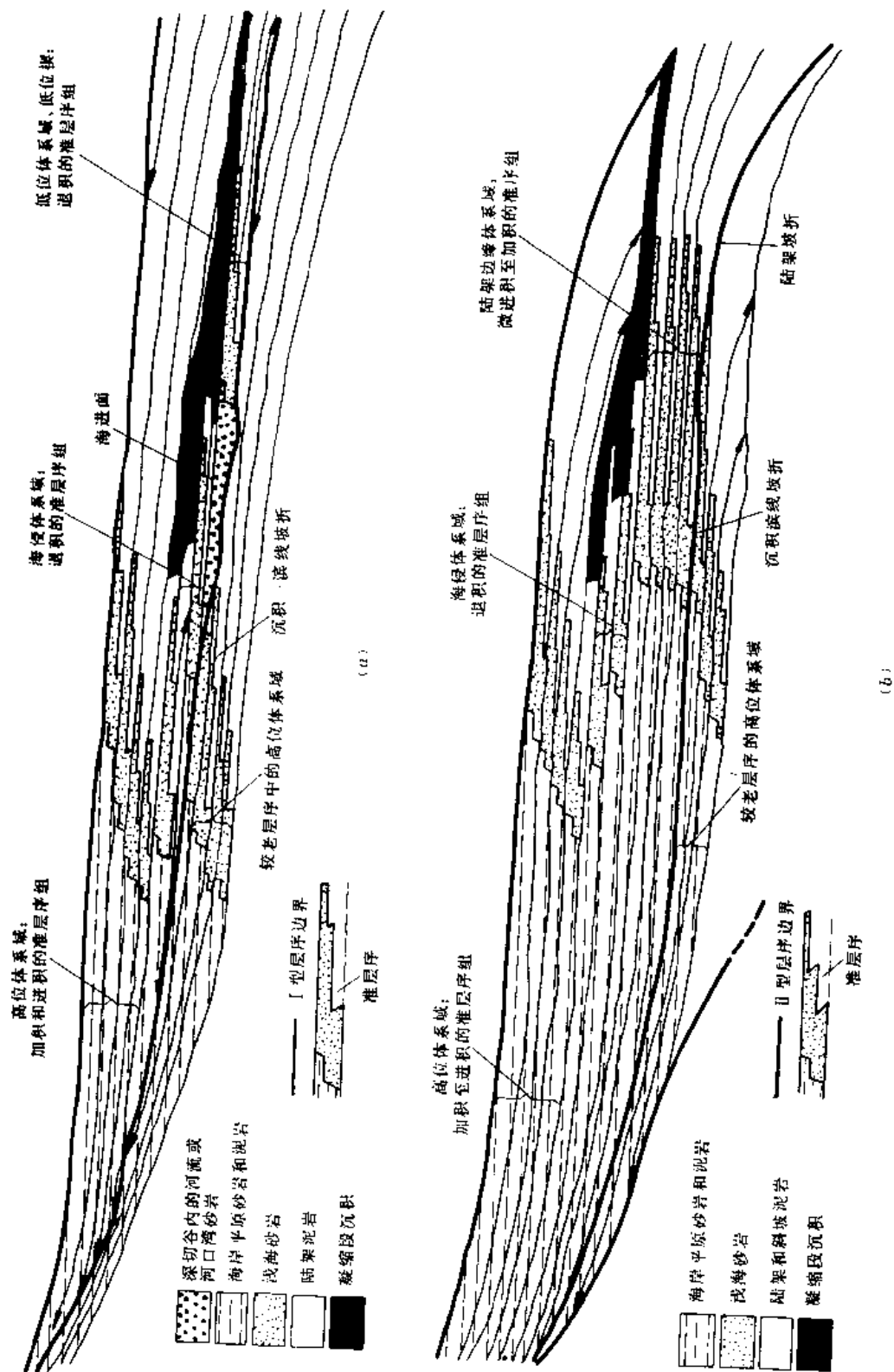


图5 沉积在一个有斜坡边缘盆地内 I 型层序中的地层型式 (a) 和 II 型层序中的地层型式 (b)  
(据 Van Wagoner 等, 1990)

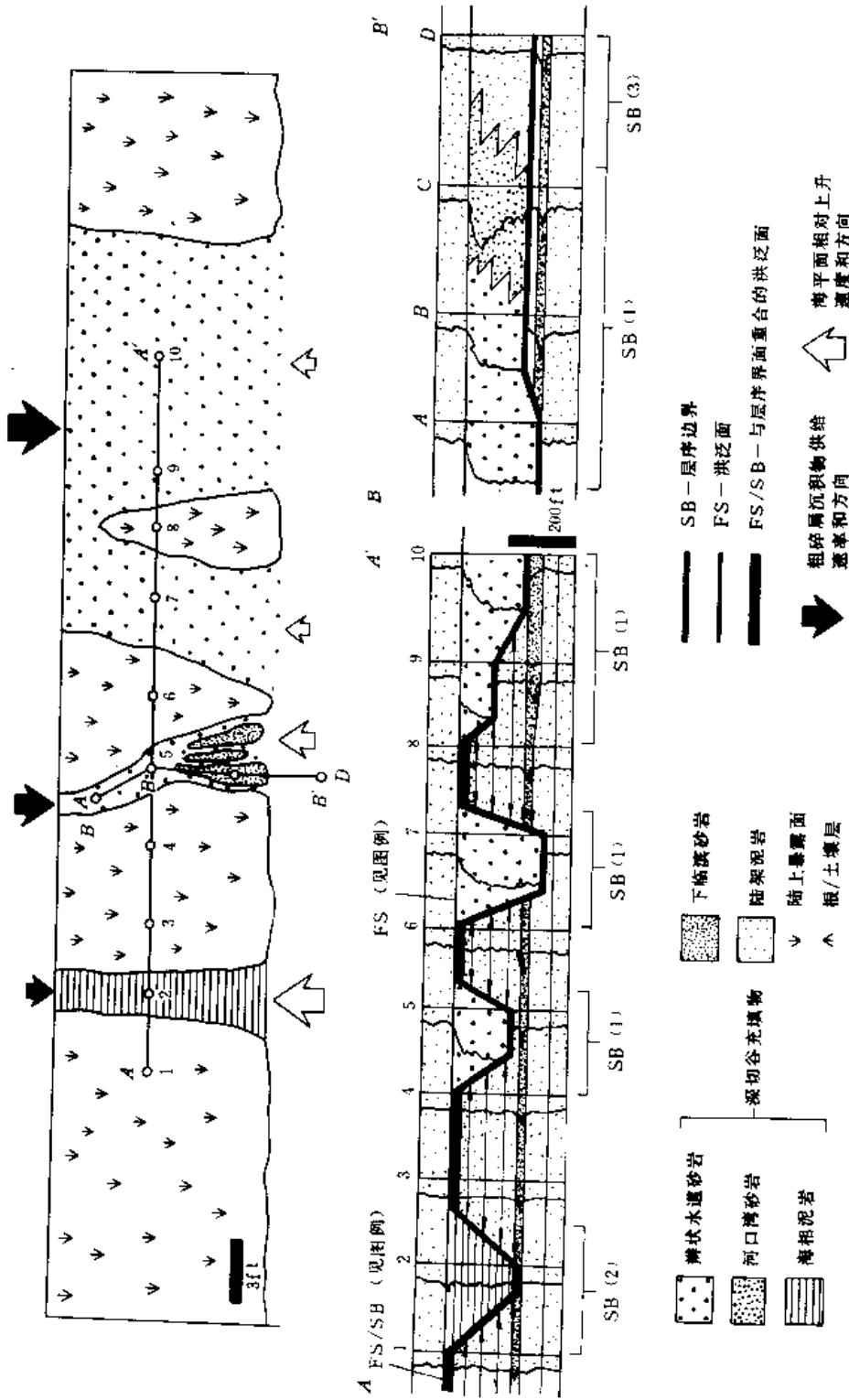


图 6 图例和横剖面图表示陆架上的第一类层序边界表现的变化  
 图中归纳了用以识别第一类层序边界与海水洪水泛滥的沉积环境，地层终止和其他识别准层序  
 (据 J. C. Van Wagoner 等, 1990)

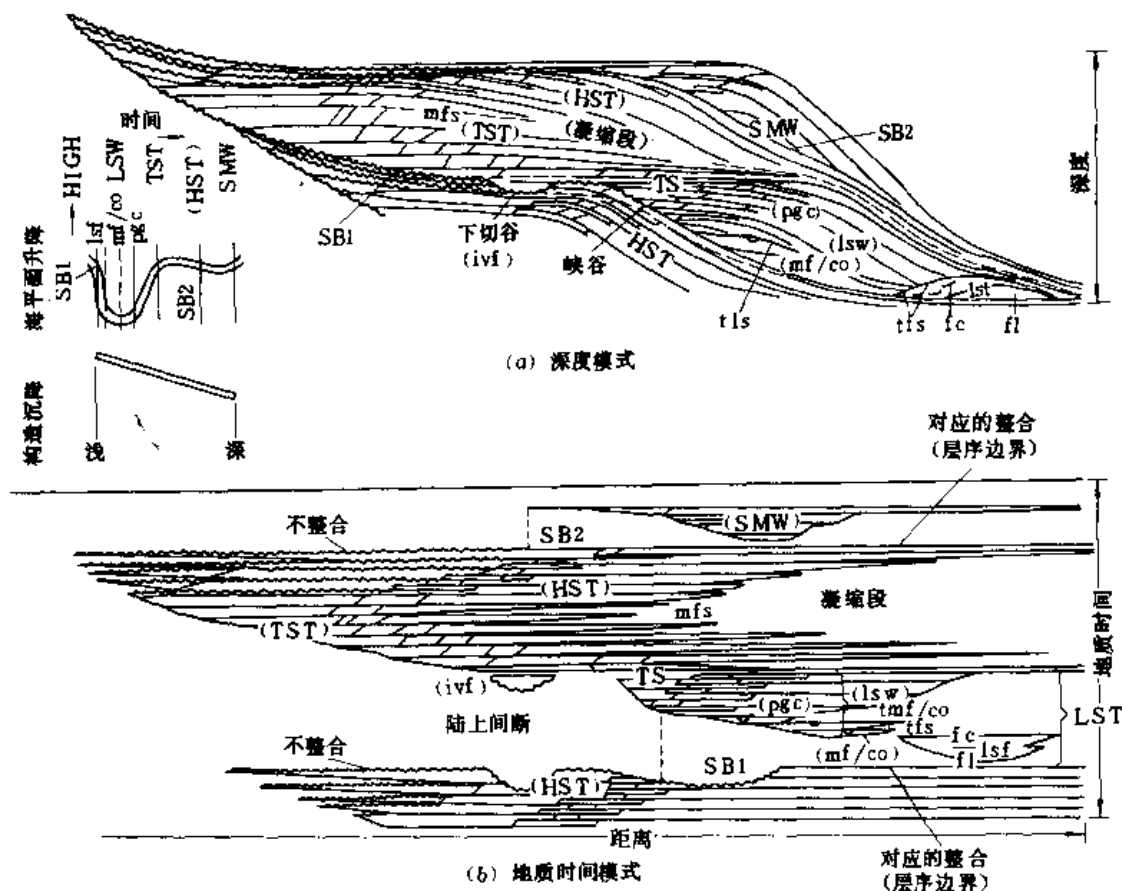


图7 层序地层沉积模式表明的面和体系域,展示了I型和II型层序中一次旋回的深度(a)和一次旋回的地质时间(b)

面;SB—层序边界(SB1—I型,SB2—II型);DLS—下超面(mfs—最大海泛面,tfs—最顶面,tmf/co—块状流顶/水道越岸沉积);TS—海侵面(最大海退之上的第一个海泛面)体系域;HST—高位体系域;TST—海侵体系域(ivf—下切谷充填);LST—低位体系域(ivf—深切谷充填,lsw—低位楔,pgc—进积复合体,mf/co—块状流/水道越岸沉积;lsf—低位扇,其中fc—扇上水道,fl—扇缘体);SMW—陆架边缘楔体系域

率略小于或等于盆地沉降速率,即沉积滨线坡折处无明显的海平面相对下降的情况。

I、II两种类型层序的区别在于,I型层序海平面相对下降明显,存在低位体系域,以地表暴露及河流回春作用和相向盆地方向迁移为特征;II型层序全形成于陆架范围内,在沉积滨线坡折上无海平面相对下降、无地表剥蚀与河流回春作用和相向盆地方向的迁移,层序剖面由陆架边缘体系域、海侵体系域和高位体系域组成,缺低位体系域(图4、图5、图6、图7)。

**应用** 含煤岩系、煤层在层序中的分布,受海平面相对升降变化的控制。通过对含煤岩系沉积相、沉积体系和海平面变化的研究,可得出在较短的等时的年代地层格架内岩煤层对比的合理方案。相对海平面上升过程中,地下水潜水面缓慢上升,有利于形成厚煤层,

且陆源碎屑物输入量少,易形成低灰分、以凝胶化物质为主的光亮型、半亮型煤;反之,相对海平面下降过程中,沼泽覆水程度逐渐减少,陆源碎屑输入量多,不利于泥炭层的持续堆积。此外,不同体系域内,煤层、煤质分布规律也有差异。煤层对沉积条件变化反映灵敏度大,研究煤层、煤质的区域变化规律及煤层与顶、底板之间的关系,又能进一步帮助搞清海平面相对变化和区域性甚至全球海水进退规律,有利于研究解决大地构造问题。

#### 参考书目

- J. C. Van Wagoner, R. M. Mitchum, K. M. Campion and V. D. Rahmanian, 1990, Siliciclastic Sequence Stratigraphy in Well Logs, Cores, and Outcrops: Concepts for High-Resolution Correlation of Time and Facies.
- P. R. Vail et al., 1991, The stratigraphic signatures of tec-



tonics, eustasy and sedimentology—an overview, in: Cycles and Events in Stratigraphy, Ed. by Gerhard Einsele, Werner Ricken and Adolf Seilacher.

(李宝芳)

meixi chenji gouzao

**煤系沉积构造** (sedimentary structures of coal measures)

煤系沉积岩颗粒的空间分布和排列方式。它反映沉积物沉积时的水动力条件,是在沉积期或沉积后通过物理作用、化学作用和生物作用形成的。其中,沉积期形成的称原生沉积构造,包括层理、波浪等。沉积后形成的构造,有的是在沉积物固结前形成的,包括重荷膜、包卷层理;有的是在沉积物固结为岩石以后产生的,称后生构造,如缝合线等。

研究沉积构造的先驱者是英国地质学家 H. C. 索比 (H. C. Sorby, 1826~1908), 早在 19 世纪,他就利用原生沉积构造重塑古地理环境。20 世纪 50 年代以后,沉积学在欧美迅速发展,出版了大量有关沉积岩的总结性专著,德国学者 H. E. 赖内克 (H. E. Reineck) 与印度学者 I. B. 辛格 (I. B. Singh) 合著的《陆源碎屑沉积环境》(1973) 和 J. R. L. 艾伦 (J. R. L. Allen) 的《沉积构造》(1982) 都详细论述了各种沉积构造,并从沉积构造角度探讨了沉积环境。

表 1 沉积构造的分类

|        |         |   |
|--------|---------|---|
| 沉积构造   | 原生沉积构造  | 层理构造: 块状层理、韵律层理、纹层理、水平层理、平行层理、波状层理、交错层理<br>层间构造: 上拱构造、泥瘤、斜交层理构造、直交层理构造、槽模、沟模、席纹、缝模、指模<br>冲刷充填构造、侵蚀面构造 |
|        | 沉积物变形构造 | 重荷模构造、包卷构造、砂埋和砂枕构造、席流构造、缝合构造  |
|        | 搬运成因构造  | 干裂、雨痕、冰雹痕、波痕  |
| 化学成因构造 |         | 缝模、缝合线、叠痕、晶样印痕  |
| 生物成因构造 |         | 生物生长构造、叠层、波痕构造、迹道化石、根痕  |
| 复合成因构造 |         | 孔隙充填构造、缝模构造   |

沉积构造可按构造成因分类,也可按形态分类。但目前多采用形态与成因相结合的分类方案,大类按成因划分,次级分类有的按成因,有的按形态划分(表 1)。

**流动成因构造** 沉积物在搬运和沉积过程中,由于介质(如水、空气)的流动,在沉积物表面形成的构造,包括层理构造、层面构造、冲刷充填构造和侵蚀面构造。

**层理构造** 沉积物沉积时由沉积物的颜色、成分、粒度、颗粒的排列以及层厚、形状等在层内沿垂向变化而显示的成层构造。层与层之间可以有层面分隔,也可无层面。层面代表沉积作用短暂或长期的间断。层的厚度变化很大,可由数毫米至数米,按厚度可划分为块状层(厚度>2m),巨厚层(2~1m),厚层(1~0.5m),中厚层(0.5~0.1m),薄层(0.1~0.01m)和极薄层(<0.01m)。

组成层理的要素有细层、层系、层系组(图 1)。①细层。层理的最小构成单位,其厚度极小。常以毫米计,同一细层往往具有比较均一的成分和结构,有时也有粒度的变化,它是在同一水(风)动力条件下短期内形成的。细层之间既可有界面也可无界面;细层既可与层面平行也可斜交;细层的形态可呈平直状、波状与弯曲状;细层之间既可以平行也可以不平行;细层可以是连续的或不连续的(图 2)。②层系。由成分、结构和产状上相同的许多细层组成,是同一环境及相同水(风)动力条件但不同时间的形成物。③层系组。由两个或两个以上相似层系组成,是同一环境相似水(风)动力条件下的形成物。

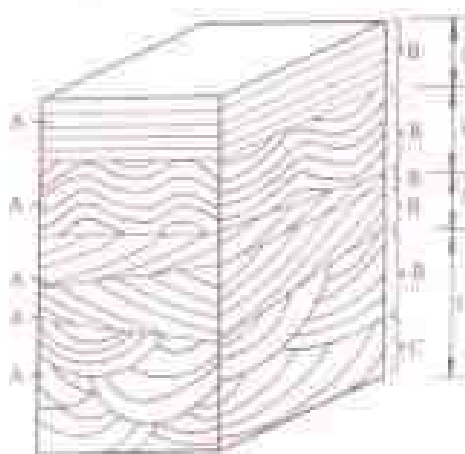


图 1 层理要素

A—细层; B—层系; C—层系组

(据 E. D. McKee 和 G. W. Weir, 1953; 修改)

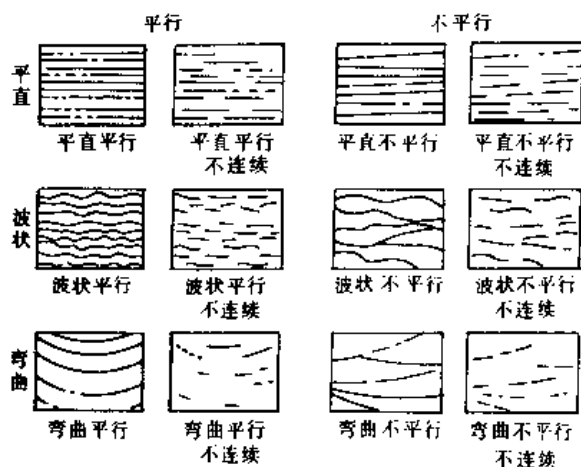


图2 细层的形态分类

(据 Reineck, 1973)

层理类型很多,煤系中常见的层理有块状层理,韵律层理,粒序层理,水平层理,平行层理,脉状、波状及透镜状层理和斜层理等。

**块状层理** 层内物质均匀,不显细层构造的层理。一般认为,它由快速堆积、沉积物来不及分异形成,在泥岩及厚层的粗碎屑岩中常见。腐泥煤、腐植腐泥煤也常具块状构造,是在滞水条件下,植物有机质缓慢而均匀地沉淀而形成。

**韵律层理** 由平行或近于平行的、从数毫米至数厘米厚的两种或两种以上的岩性、颜色层重复互层组成的层理。常见砂质(包括粉砂)和泥质层的韵律互层,称为砂泥互层层理。韵律层理的成因很多,既有由潮汐流周期变化形成的潮汐韵律层理,也有由气候季节性变化形成的浅色层与深色层的成对互层,即季节性韵律层理;还有由浊流沉积形成的复理石韵律层理等。

**粒序层理** 又称递变层理,多数情况下,从层的底部至顶部,沉积物粒度由粗逐渐变细,称正粒序;也有少数由细逐渐变粗的,称逆粒序。粒序层理底部常有一冲刷面或呈突变接触,内部除了粒度渐变外,不具任何纹层。粒序层理是由悬移搬运的沉积物在搬运过程中,因流动强度减小,流水携带能力减弱,沉积物按粒度大小依次先后沉降而形成。粒序层理是浊积岩中的一种特征性的层理,携带有大量悬浮物的河流、海流、潮汐流沉积,以及冰川季节性融化的冰湖沉积,都可形成粒序层理。

**水平层理** 细层平直并与层面平行,连续或断续,厚约0.1mm至数毫米,主要见于泥质岩、粉砂岩、煤

和泥晶灰岩中。它是在比较弱的水动力条件下由悬浮物沉积而成。因此,出现在湖泊深水处、潟湖、泥炭沼泽及滨外等低能的环境中。

**平行层理** 在外貌上与水平层理极相似,是在水浅流急的条件下,由平坦的床沙迁移,在床面上连续滚动的砂粒产生粗细分离而显示出的水平细层,由砂质沉积迅速转变为泥质沉积时,沿层理面易剥开,在砂质顶面上可见到剥离线理构造(Parting lineation structure)。平行层理一般出现在河道和海滩等急流及高能环境中。

**脉状、波状及透镜状层理** 层内为波状薄泥纹层和砂纹层的互层。当以砂质为主,泥质物仅呈脉状保存在砂质波痕的波谷中时,称脉状层理;当砂、泥同等发育并都呈连续的波状层时,称波状层理;当以泥质为主,砂质呈凸透镜状分布时,称透镜状层理。它们都在水流或波浪活动期和静水期相互交替的条件下形成,常见于潮间带、潮下带、湖滨和三角洲前缘及河漫滩沉积物中。

**斜层理** 由一系列与层面斜交的细层组成。其细层的倾斜方向,指向水流方向。这种层理常出现于碎屑岩中。根据细层倾斜方向的不同,斜层理又可分为单向斜层理和交错斜层理。单向斜层理的细层都向同一方向倾斜,交错斜层理的细层的倾斜方向则多变,反映了水流方向经常改变的特点。交错层理根据层系的形状不同,通常分为板状交错层理、楔状交错层理、槽状交错层理、波状交错层理等;按层系厚度不同,则可分为小型(<3cm)交错层理、中型(3~10cm)交错层理、大型(10~200cm)交错层理、特大型(>200cm)交错层理。交错层理可有不同的成因,除由沙纹、沙浪、沙丘、床沙形态迁移而形成的小型、中型、大型交错层理外,还有由蛇曲河的边滩和海滩滩面侧向加积、风成沙丘迁移而形成的大型、特大型交错层理。

**层面构造** 保存在岩层层面上的各种构造和铸模的总称。有的在岩层顶面上,主要有波痕、剥离线理等;有的在岩层底面上,特别是在下伏层为泥岩的砂岩底面上成铸模保存下来,主要有沟模、槽模、跳模、刷模和锥模。层面构造多为流动成因。

**波痕** 沉积物或沉积岩层最为常见的上层面构造之一,它是由于流体作用在非粘性沉积物表面形成的一种有规律的波状起伏现象,多见于砂岩、粉砂岩和颗粒灰岩的层面上。波痕在剖面上为起伏相间的峰和谷,在平面上则由一系列互相平行或分叉的波峰或波谷组成。其延伸方向垂直于流体运动方向。习惯上,用垂直波脊的剖面来描述波痕的特征。组成波痕的形态要素包括峰顶、谷底、折点、波长、波高、迎流坡、背流坡、

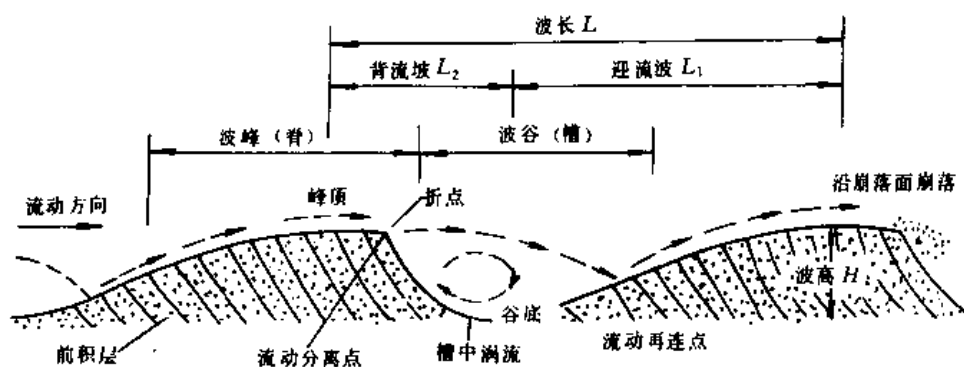


图3 波痕组成要素及流动方式示意图

波峰和波谷(图3),并用波痕指数  $RI = L/H$  表示波痕相对高度和起伏情况;用波痕对称指数  $RSI = L_1/L_2$  表示波痕的对称程度。

波痕按形成的介质条件不同,可分为:流水波痕、浪成波痕、风成波痕;按对称指数可分为:对称波痕( $RSI \approx 1$ ),不对称波痕( $RSI > 1$ )。流水波痕和风成波痕属于不对称波痕;浪成波痕则兼有对称波痕和不对称波痕。根据波痕的类型可以了解沉积物形成的条件及介质流动的方向(特别是不对称波痕)。虽然有些波痕如流水波痕及浪成波痕可出现于不同的沉积环境,但是它们的形态及分布,特别是相对丰度是不相同的(表2)。

表2 各种环境中的波痕类型和特征  
及其相对丰度

| 环 境  | 流 水 波 痕                              |                              | 浪 成<br>波 痕 |
|------|--------------------------------------|------------------------------|------------|
|      | 大 型<br>( $L = 0.6 \sim 30\text{m}$ ) | 小 型<br>( $L < 0.6\text{m}$ ) |            |
| 河 流  | ++                                   | ++                           | ○          |
| 湖 泊  | —                                    | ○                            | +          |
| 湖 滩  | —                                    | +                            | ++         |
| 泻 湖  | —                                    | ○                            | +          |
| 潮间平台 | +                                    | ++                           | ++         |

++大量; +一般; ○稀少; —缺少。

煤系中流动成因的构造除层理和波痕外,还常见各种流动痕的印模,是水流在松软的泥质沉积物表面流动形成的凹槽或凹坑,被砂质物充填,而在泥质岩上覆的砂岩底层面上铸成的向下凸出的底面构造。这种构造分为两种,一种由水流冲刷侵蚀形成,主要有冲刷充填构造和侵蚀面构造;另一种由水流携带物体撞击形成,主要有槽模、沟模、跳模等。

**准同生变形构造** 沉积物沉积后,处于富含孔隙

水状况下所发生的形变。形变的程度可从轻微的扭曲层,到复杂的“褶曲”层、破碎层及变位层,包括包卷构造、重荷模、滑塌构造、砂球及砂枕构造、礁状构造等。一般来说,这样的变形构造是局部性的,基本上局限于未形变层的一个层,常出现在粗粉砂、细砂沉积层中,主要受颗粒的粘性、渗透性和沉积速率的控制。

**暴露成因构造** 沉积物露出水面(或在水面附近),处在大气中,表面逐渐干涸收缩或者受到撞击而形成的构造,主要有干裂、雨痕、泡沫痕等。

**化学成因的构造** 化学溶解、沉淀作用形成的构造,主要有结核、缝合线、叠锥等。

**结核** 岩石中的矿物集合体与围岩在颜色、成分、结构等方面有明显的差异,常成球状、椭球状及不规则的团块状,大小不等,可从数毫米到数十厘米。结核按矿物成分可分为菱铁矿结核、黄铁矿结核、钙质结核等。结核的内部组构可呈同心圆状、放射状或网格状。有的还保存了围岩的残余结构和构造。结核常见于煤系的各类岩石中,它对解释沉积环境,划分、对比地层都有意义。

**缝合线** 在垂直层面的切面中呈锯齿状的缝隙,颇似头盖骨接缝,在平面上呈参差不齐起伏状的曲面。缝合线常见于石灰岩中。缝合线可与岩层层面平行、斜交或垂直,也可彼此相交成网状。其成因与压溶作用有关。

**叠锥** 由一连串纤维状方解石的同心圆锥套叠而成,一般锥顶朝上,见于煤系的泥灰岩、钙质泥岩中,其成因多与压溶作用有关。

**生物成因的构造** 与生物作用有关的沉积构造。可分为叠层构造和生物扰动构造。

**叠层构造** 属于生物生长构造,由蓝绿藻丝状体分泌的粘液,将碎屑物质(主要是碳酸盐颗粒)粘结后

石化而成。它由富藻纹层(又称暗层,厚0.1mm左右)和富屑纹层(又称亮层,厚1.0mm左右)交替构成,纹层的形状可为层状、波状、柱状、锥状、球状及瘤状等。它主要分布在潮间、潮上及潮下的浅水环境。具有叠层构造的岩石称叠层石。叠层石除可用于鉴别古环境、测定古流向外,还可根据其纹层向上凸起的特点,确定地层层序的正倒。

**生物扰动构造** 保存在沉积物层内和层面上的生物活动的痕迹。它可分为变形生物扰动构造(简称扰动构造)和定形的生物扰动构造(简称遗迹化石)。

**扰动构造** 无一定形态,层理被生物扰动产生变形,不同粒级的颗粒和颜色呈不规则的斑点,砂质巢穴在泥质沉积物中呈不规则的分布等,都是生物扰动的标志。一般认为,扰动构造是潮间、潮下环境的特征。

**遗迹化石** 有一定形态,是生物活动和生存的遗迹。主要有足迹、爬迹、潜穴和根痕等。它是判别沉积相的良好标志(见煤系生物相)。

**复合成因的构造** 由物理作用、化学作用和生物作用联合形成的沉积构造,主要有孔洞充填构造和硬底构造。这些沉积构造基本上是碳酸盐岩所特有,对于含煤地层来说是次要的。

#### 参考书目

曾允孚、夏文杰等,《沉积岩石学》,地质出版社,1986。

Allen, J. R. L: Sedimentary structures, Their character and physical basis. Developments in Sedimentology 30A, 30B, Elsevier Amsterdam, 1982.

Rhodes W. Fairbridge, Joanne Bourgeois: 《The Encyclopedia of sedimentology》, 1987 by Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.

(杨锡禄)

meixi chenji xiang

**煤系沉积相** (sedimentary facies of coal measures)

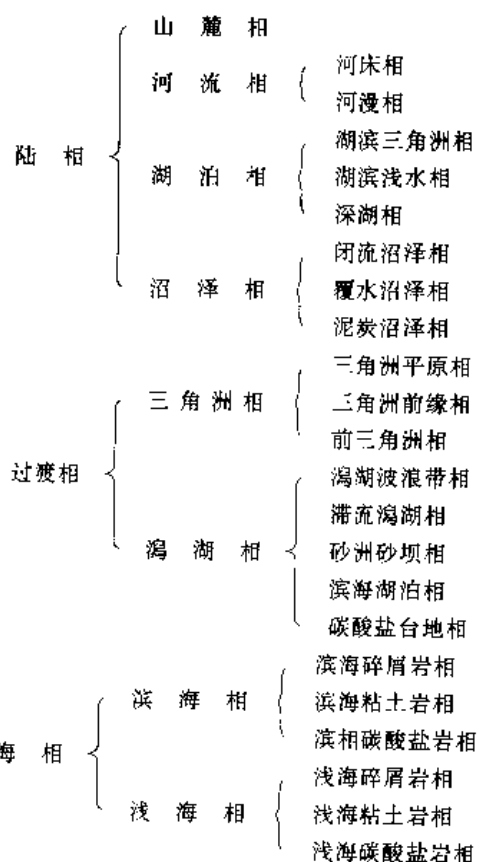
由岩层的岩性、结构、构造、化石,岩层间接触关系等所反映的含煤岩系形成的古地理环境,是含煤岩系岩石相、沉积构造、生物相、地球化学相、地震地层相和地球物理测井相的总称。

“相”(facies)这个词,按拉丁文或法文的原意就是面貌、外观或状态。任何沉积岩都是在古代一定沉积环境中堆积下来的,都印有特定的岩性、结构、构造和生物标记。这些标记的有规律的组合,就是“沉积相”。1838年,瑞士学者A. 格列斯利(A. Gressly)在研究法国东部上侏罗统时,首先采用“相”这个术语表示岩石单位,将“相”理解为“一定地层单元内岩石特征

和动物群特征的总和”。苏联学者Л. Б. 鲁欣(Л. Б. Рухин)1958年将沉积相定义为“沉积物特征及其生成环境的总和”。1970年,英国学者R. C. 塞利(R. C. Selley)提出从五个方面来限定“相”,即沉积岩体的几何形态、岩石学特点、古生物特点、沉积构造特点及古流向特点。1976年,他提出应把“相”理解为“沉积环境的古代产物”,亦即专指环境的“物质表现”。

沉积相分类与沉积环境的分类一致,一般分为陆相、过渡相和海相三大类。根据环境条件和沉积组合,每一大类又可分为若干相,并可再细分为若干亚相。

含煤岩系中常见的沉积相大致可划分如下:



各种沉积相都有其独特的几何形态、岩性成分、沉积结构和构造、化石、地球化学特征、沉积层序和分布特征。因此,通过对沉积岩成因标志的研究可以“恢复”其沉积时的古地理环境。这一研究过程和方法称为沉积相分析(简称相分析)。沉积岩成因标志包括物理标志、化学标志和生物标志等三个方面。①物理标志。主要指岩石的结构和构造。它反映沉积时的水动力条件,是最直观的特征,也是相分析时的重要标志。②化学标志。反映沉积水体的水化学和地球化学条件。它包括:地球化学、矿物学和部分岩石学特征。③生物标志。主要指各种古生物遗体和遗迹。它是区别相的可靠的成因标志。沉积层序分析、沉积体产状、岩相分布特征

等,在环境分析中也具有重要意义。实践证明,必须对各种成因标志进行综合研究,才能较好地推断岩石的沉积相。

### 参考书目

刘宝珺等,《沉积岩石学》,地质出版社,1980。

A. Hallam,《沉积相解释与地层记录》,张志娴等译,地质出版社,1991。

任明达、王乃梁,《现代沉积环境概论》,科学出版社,1981。

R. C. Selley,《An introduction to sedimentology》, London, 1982。

E. J. Pettijohn,《Sedimentary rocks》, 3rd Edition Harper & Row, New York, 1975。

(杨锡禄)

### meixi diqiu huaxue xiang

**煤系地球化学相** (geochemical facies of coal measures)

煤系岩石中反映沉积环境的地球化学特征,包括水介质的含盐度、酸碱度、氧化还原电位等。

**煤系中常用的沉积相地球化学标志** 能反映环境差别的化学成分及其含量。理想的地球化学标志应能敏锐地反映出水介质的含盐度,即具有指相性,且其在沉积期不受各种因素的干扰,沉积后不受成岩、后生等作用的影响,易于精确测定。

**微量元素及其比值** 煤系的泥质岩和煤中微量元素的含量和比值,往往具有反映沉积环境的作用,一般用光谱分析方法测定。

**硼含量** 硼是一个比较好的指相元素。由于沉积物中硼的来源,除陆源碎屑中带来者(如电气石)外,大都是从水体中吸附来的。因而,可从沉积物中的硼含量,推测沉积介质的含盐度。现代正常海洋沉积物中,平均硼含量为115~143ppm(据Landergrén, 1964);半咸水盆地沉积物中,平均硼含量为85~110ppm(据Тимофеев, 1976);淡水沉积物中,平均硼含量为40~60ppm(据Porrenga 1967)。古代海洋环境的泥质岩中,硼含量均大于100ppm;古代大陆环境沉积物中,硼含量均低于64ppm;古代过渡环境的泥质岩中,硼含量则介于二者之间。硼含量与岩石类型、矿物成分、有机质含量有一定关系,也受变质作用的影响。一般,只有在同一陆源区、同一沉积盆地形成的沉积物中,硼含量才有较好的指相意义。

**硼铍比值(B/Ga)** 该比值是较好的指相标志之一。一般认为:海洋沉积物中硼含量高,淡水沉积物中铍较富集。海洋沉积物中,B/Ga值一般大于4.5~5;而大陆沉积物中,B/Ga值小于3.3;过渡性沉积物中,

则介于二者之间。

**锶钡比值(Sr/Ba)** 该比值有随盐度的升高而明显增大的趋势。淡水沉积物中,Sr/Ba值通常小于1;而海洋沉积物中,则多大于1;特别是从陆地向海洋过渡地区,Sr/Ba值逐渐增大的趋势十分明显。

此外,像Cr、Cu、Ni、V等元素的含量以及锶钙比值、钍铀比值、铷钾比值和锰铁比值等,在海洋和大陆沉积物中也都有差别,均可作为指相的参考指标。

**沉积磷酸盐** 现代或古代泥质沉积物中都含有少量沉积成因的磷酸盐,其成分与沉积水体的含盐度有关。从淡水到海水,随盐度升高,钙的活动性提高,铁的活动性逐渐减低。因此,河、湖相沉积物中,磷酸盐主要为磷酸铁;海相沉积物中,几乎全是磷酸钙。磷酸钙/磷酸铁比值,反映了水体的含盐度。据同济大学的资料(1980年),海相沉积物中,这一比值大于7,计算盐度大于22‰;过渡相沉积物中,该比值为7.0~3.0,计算盐度为22‰~13‰;陆相沉积物中,该比值小于3,计算盐度小于13‰。中国山西省太原西山煤田中淡水泥炭沼泽形成的煤层,其古盐度为5.5‰~8.5‰;而微咸水、半咸水泥炭沼泽形成的煤层,其古盐度为11‰~27‰,古盐度值与两类煤层的其它沉积相标志基本吻合。然而,用这种方法测算古盐度仅能定性,有局限性。有时,陆源区有磷灰石发育或沉积物中有含磷酸钙的化石(舌形贝等)存在,都会影响磷酸盐的成分及其比值,用时必须考虑。

**稳定同位素** 稳定同位素的数值变化也有较好的指相意义。应用于沉积相分析的同位素主要有 $^{18}\text{O}$ 、 $^{17}\text{O}$ 、 $^{16}\text{O}$ 、 $^{13}\text{C}$ 、 $^{12}\text{C}$ 、 $^{34}\text{S}$ 、 $^{32}\text{S}$ 、 $^{33}\text{S}$ 、 $^{36}\text{S}$ ,通常采用 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 、 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 、 $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ 等比值表示同位素成分。由于 $^{16}\text{O}$ 比 $^{18}\text{O}$ 重,水分蒸发时 $^{16}\text{O}$ 容易逸出,因而,海水中 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比值较高;陆地淡水主要来自大气降水,因此 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比较小,而且气温越低,比值越小。海水中 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 的平均比值比温带淡水高7‰,比高纬度淡水高30‰,比南极附近的雪高60‰。海水中 $^{13}\text{C}$ 比淡水中多,海洋中无机碳的 $\delta^{13}\text{C}$ 为-1‰~2‰。而淡水中为-5‰~-11‰;海生植物中的 $\delta^{13}\text{C}$ 为-8‰~-17‰,而陆生植物中的 $\delta^{13}\text{C}$ 为-22‰~-29‰,海相灰岩 $\delta^{13}\text{C}$ 为2‰~4‰,淡水灰岩 $\delta^{13}\text{C}$ 变化于-2‰~-18‰之间,若含有机质,则 $\delta^{13}\text{C}$ 为-25‰~-30‰,海相灰岩 $\delta^{18}\text{O}$ 为0‰左右;淡水灰岩 $\delta^{18}\text{O}$ 多为0‰~-1‰之间,部分为0‰~4‰左右。陆相水域中的 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化很大,但同一地质时期海水中的 $\delta^{34}\text{S}$ 值却相对稳定。可借以分辨海相与陆相。

利用稳定同位素区分沉积相的优点在于,它不受物源区的影响。而其缺点是,沉积物中同位素组分易受



沉积后置换作用的影响(氧同位素表现更明显)。且供同位素分析用的样品,必须是自生碳酸盐样,有时难以采到。

**介质的氧化还原性与酸碱度** 氧化或还原作用的强度决定于介质中所含溶解氧的量。它用氧化还原电位表示。对于含铁矿物,在氧化环境中形成赤铁矿,弱还原环境中则以形成菱铁矿为特征,强还原环境中多

形成黄铁矿。由于某些元素或化合物沉积时所要求的酸碱条件不同,因此可以根据沉积物来推测介质的酸碱度(pH)值。海水的pH值一般为7.8~8.3;淡水的pH值为6.2。对于粘土矿物,陆相酸性条件下形成高岭石,而在海水碱性条件下则形成蒙脱石。因而,粘土矿物等一些自生矿物具有指相性,指示介质的酸碱度和氧化还原性见下表。

指示水介质物理化学性质的粘土矿物和其它自生矿物

| 介质的碱性 | 粘土矿物           | 碳酸盐矿物           | 含铁矿物 | 介质的氧化还原性 | 含铁矿物       |
|-------|----------------|-----------------|------|----------|------------|
| 酸性    | 高岭石            |                 | 白铁矿  | 强氧化      | 赤铁矿        |
| 弱酸性   | 绿帘石            |                 |      | 氧化       | 菱铁矿<br>赤铁矿 |
| 中性    | 绿帘石<br>拜来石     | 菱铁矿             |      | 弱氧化      | 赤铁矿<br>菱铁矿 |
| 弱碱性   | 绿帘石<br>拜来石、伊利石 | 白云石、白云<br>石、菱铁矿 | 黄铁矿  | 弱还原      | 菱铁矿        |
| 碱性    | 绿帘石            | 方解石             |      | 还原       | 菱铁矿<br>黄铁矿 |
| 强碱性   | 绿帘石            |                 |      | 强还原      | 菱铁矿<br>黄铁矿 |

分析成煤环境时,硫、铁元素及其化合物经常被视为地球化学标志。泥炭沼泽有内陆淡水泥炭沼泽和近海滨岸泥炭沼泽两类。近海滨岸泥炭沼泽既有淡水流入,又有海水灌入,为微咸水、半咸水介质,盐度较高,海水带入的硫酸根离子,在碱性介质条件下,被还原细菌还原成具有活性的硫化氢,进而与铁离子化合成硫化铁,因而在这类沼泽中所形成的煤层富含黄铁矿;而淡水泥炭沼泽中由于盐度低,硫酸根离子少,虽有还原细菌作用,但不能生成较多的硫化铁,因而所形成的煤层中黄铁矿少。

### 参考书目

同济大学海洋地质系,《海、陆相地层辨认标志》,科学出版社,1980。

Rhodes W. Fairbridge, Joanne Bourgeois:《The Encyclopedia of sedimentology》,1978 by Dowden, Hutchinson & Ross, Inc.

南京大学地质系,《地球化学》,科学出版社,1979。

(杨锡禄)

### meixi diqiu wuli cejing xiang

**煤系地球物理测井相** (geophysical logging facies of coal measures)

煤系岩石中反映垂向层序和环境演化的地球物理测井曲线特征。运用测井资料判别煤系的沉积相和沉积环境时,一般采用多种测井方法组合,包括视电阻率法、 $\gamma$ 法、 $\gamma-\gamma$ 法或地层体积密度法和自然电位法等。有时,还配合声波、岩层倾角等测井方法。通过处理多种不同参数的测井曲线,可以把测井孔段划分成若干测井相。每一种测井相对应地有一种特征测井曲线,根据标准孔中建立的测井相与沉积相的相关关系,再结合当地地质模型,就可以用测井相鉴定沉积环境。而单凭一两种测井曲线判别煤系沉积相和沉积环境,则往往会得出错误结论。

**地质-物理基础** 鉴别沉积环境的关键是确定岩性、粒度、分选性、泥质含量、胶结程度、岩层接触关系、垂向沉积层序、砂体的形态和分布以及煤、岩层横向上的变化等各种成因标志。这些成因标志是各种沉积环境水动力因素作用的结果,它们又控制着岩石导





电性、自然放射性、自然电位、密度等物理性质的变化。利用测井曲线确定这些岩石物理性质（或者说成因标志）在纵向和横向的变化，就可以配合当地的地质模型，鉴定沉积环境。

**电阻率** 煤层和石灰岩的视电阻率差异不大，均为高阻。其它岩层的视电阻率都低于煤层和石灰岩。煤层的视电阻率值随其灰分含量的增加、密度的增大而减小；石灰岩随泥质含量增高，其视电阻率值降低；碎屑岩的视电阻率，与其粒度、分选性、泥质含量、胶结物成分、胶结程度和地层水矿化度等有关。一般，砂岩的视电阻率值随其粒度的减小、泥质含量的增高、密度的增加（密度大小与胶结物成分及胶结程度有关）以及地层水矿化度的增高而降低，但随碎屑颗粒分选性的变差而增高；泥质岩的视电阻率最低。

**自然放射性** 沉积物的粒度越小，比面积越大，吸附自然放射性元素的能力越强。当不存在其它放射性物质的干扰时，岩层 $\gamma$ 射线的强度随泥质含量的增加而增大。一般，石灰岩、砂岩的自然放射性较弱，泥质岩的自然放射性较强。煤中的有机质和无机质都不是放射性物质，通常 $\gamma$ 强度低，而当成煤环境中伴有伴生的铀等放射性元素时，则其 $\gamma$ 值将出现异常。岩石的自然放射性与其分选性无明显关系，而与其粒度密切相关。利用 $\gamma$ 测井曲线来计算粒度中值，对确定陆相沉积岩层效果较好，对确定海相沉积岩层可望取得好的效果，但对于确定快速堆积的粗相带或钙质富集带，则效果明显变差。

**$\gamma$ - $\gamma$ 射线**  $\gamma$ 射线辐射煤、岩层时产生的散射 $\gamma$ 射线。这种射线的强度与煤、岩层的密度有关。煤层具有明显的低密度特性，在 $\gamma$ - $\gamma$ 测井曲线上表现为明显的高峰，据此，可有效地查明煤层。鉴于不同岩性的密度差异不很明显，因此， $\gamma$ - $\gamma$ 测井曲线鉴别岩性的分辨力不高，较少直接用于研究沉积相和沉积环境。

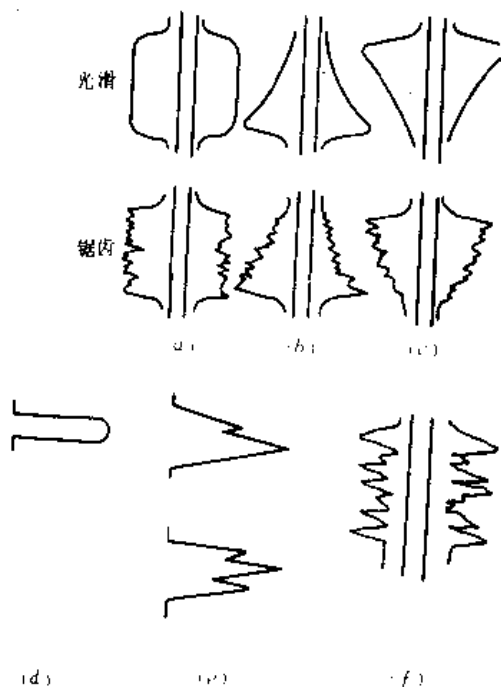
**自然电位** 钻孔中各岩层之间或岩层与冲洗液接触界面上自然形成的扩散—吸附电位所造成的沿孔身变化的电位降。当砂岩中地层水的矿化度大于冲洗液的矿化度时，在砂岩层段上可以观测到自然电位呈负异常（岩层的自然电位异常是相对泥质岩来说的，小于泥质岩的自然电位异常称为负异常）。这一自然电位负异常的幅值，将随粒度中值的减小，分选性的变差和泥质含量的增加而降低。据此，可根据自然电位测井曲线来确定岩石的粒度中值或泥质含量。自然电位测井曲线和 $\gamma$ 曲线反映岩层的能力比较相似，它们的幅值都与岩石的密度有关。自然电位曲线的幅值不仅与总电动势有关，还受岩层厚度、岩石电阻率、冲洗液矿化度以及工业用电干扰的影响，当其得不到满意的效果时，

常用 $\gamma$ 测井来代替。

**测井曲线形态与沉积相解释** 只有掌握了测井曲线的形态与沉积体特征之间的关系，才能对所获得的测井曲线做出正确的沉积相和沉积环境的解释。测井曲线的形态包括曲线的幅度、形状以及岩层顶、底部位的曲线特征。

**测井曲线幅度的大小** 它能够反映岩石的粒度、分选性以及泥质含量的变化，指示沉积能量。①粗粒沉积物。是高能环境中的产物，一般具有高电阻率、高自然电位负异常和低 $\gamma$ 射线强度以及相应的曲线幅度。②细粒沉积物。是低能环境中的产物，具有低电阻率、低自然电位负异常和高 $\gamma$ 射线强度以及相应的曲线幅度。

**测井曲线形状** 单个煤、岩层的测井曲线的轮廓。它们可分为箱形、钟形、漏斗形、指形、笋形和齿形等（下图）。各种曲线又可分为光滑的和带锯齿的两类。①箱形曲线。顶、底界面平直，突变，顶端呈平滑或锯齿状，反映沉积过程物源丰富、水流能量较强或快速沉积。粒度均匀的厚层砂岩常表现为箱形曲线。结构简单的厚煤层曲线亦呈箱形，但常带锯齿。②钟形曲线。底界面突变，下部突出幅度大，往上越来越小，反映岩石



测井曲线形状分类图（孔轴左边为自然电位曲线；  
右边为短电极距电位电极系电阻率曲线）  
a—箱形；b—钟形；c—漏斗形；d—指形；  
e—笋形；f—齿形  
（据黄智辉，1986；增删）



粒度由下向上逐渐变细的正粒序,说明水流能量逐渐减弱,物源渐趋减少,曲线平滑说明粒度渐变,有锯齿则反映岩性变化不连续。③漏斗形曲线,其特点与钟形曲线正好相反,曲线的顶界面突变,上部突出幅度大,往下越来越小,反映岩石由下向上变粗的逆粒序,表示水流能量逐渐增强和物源供给越来越多。④指形曲线。上、下界面突变,曲线光滑,顶端呈圆形,反映岩性均一,层较薄。⑤笋形曲线。上、下界面突变,顶端尖,多尖齿。反映岩性的差异较大。⑥齿形曲线。曲线呈锯齿状,表示沉积环境条件频繁变化,形成砂岩、粉砂岩及泥质岩相间成层的沉积系列。

岩层顶、底界面部位测井曲线形态 它们反映沉积物沉积初期和末期的介质能量和物源供应的变化情况,可分为渐变型和突变型两种。岩层底界面部位突变型曲线往往说明该岩层与下伏岩层之间存在着不整合接触或冲刷面;岩层底界面部位渐变型曲线反映该岩层与下伏岩层是连续沉积。岩层顶界面部位突变型曲线是沉积物源供应突然中断的象征;岩层顶界面部位渐变型曲线则表明沉积物源供应逐渐减少。

近年来,随着电子计算机和计算技术在测井中日益广泛应用,数字测井和测井资料数字处理获得迅速发展,提出了沉积环境测井(利用测井数字处理得到的岩石成分含量曲线和地层倾角测井资料来分析环境)、人工智能专家解释系统等一些新的沉积环境测井分析方法,这将会进一步提高煤系地球物理测井相的研究水平。

#### 参考书目

黄智辉,《地球物理测井资料在分析沉积环境中的应用》地质出版社,1986。

H. E. 多小特曼等,《岩石和矿物的物理性质》,科学出版社,1985。

(杨锡禄)

meixi dizhen diceng xiang

**煤系地震地层相** (seismostratigraphy facies of coal measures)

煤系中反映一套岩层形态、产状和相互关系的地震地层特征。其关键是详细分析地震波场的特性,特别是标志层之间的波场特征,以便划分地震相单元。M. M. Roksandic (1978) 和 J. A. Andrew (1983) 将地震相定义为“一个岩石地层或地震地层单元,或者是这个单元的一部分,它拥有可以区别(或有明显差别)于其它单元的相应地震特征”。通过确定和解释地震相单元,可以推断沉积相、沉积环境和沉积盆地的地质发展史,以及勘探区的工业开采可行性。

**地震相单元的标志** 包括煤系内部反射结构,岩层封闭,单元外形,反射波振幅、频率、连续性以及层速度等。

**反射结构** 地震反射波的几何图案。用以阐明地层结构。反射结构分为无反射结构和层状反射结构两种基本类型(图1)。

(1)无反射结构指只有少量反射面,表示均匀而单一的岩性(如均匀的海相页岩)、地层具有极陡倾角或者各种岩性经历了强烈的沉积期后的均匀化作用。

(2)层状反射结构。分为简单层状结构和复杂层状结构。①简单层状结构包括反射面呈平行状排列的和呈发散状排列的结构。平行状排列的结构反映界面稳定下沉条件下的匀速沉积;发散状排列的结构指示沉积速度变化平缓,沉积面渐倾斜,或者两种因素的组合。②复杂层状结构包括反射面呈斜交形排列的结构、S形排列的结构和杂乱排列的结构。前二者表示沉积面渐进发展。由平缓倾斜浅水区域伸入深水区的特點,斜交形结构的顶部指示沉积能量比较大,且为浅水沉积物,往往是三角洲平原沉积;S形结构表示连续下沉和沉积能低;杂乱结构中反射面杂乱无序,指示可能是地层在变化剧烈、能量较高的沉积条件下沉积的,或者是连续地层遭受变形破坏。

**岩层封闭** 由反射波配置而显示出来的地震相单元的上部界面和下部界面的接触关系。岩层封闭分为整合、顶超、侵蚀削截、上超和下超等五种基本类型。难以区分上超和下超时,统称底超(图2)。整合是指地震相单元的上、下界面没有地震波反射面的终止现象。其它几种岩层封闭类型都反映不整合接触关系,往往与沉积间断、侵蚀或海平面变化有关。分析界面的接触关系,可以确定侵蚀的存在及其范围,有助于分析沉积盆地的地层层序。

**单元外形** 地震相单元的外部几何形态,可分为席状、席状披盖、楔状、岸滩状、透镜状、丘状和冲积扇。充填型式可分为水道充填、槽地充填、盆地充填和陆坡前缘充填。通过对地震相单元外形的分析,可以推断沉积期的侵蚀程度和古地理景观。

根据地震相单元的特征,地震相一般可概括为平行—发散、前积、丘状—披盖、上超—充填等四种类型。煤系中最常见的是前积。

**运用前提** 目前,地震相分析实际应用尚无统一规范,一般认为其最佳前提条件如下:

(1)解释的关键是有符合客观实际的地质模型。构制地质模型前,全面收集和详细分析从钻孔中获得的原始资料。构制时,既考虑构造状况,也考虑岩相特征。

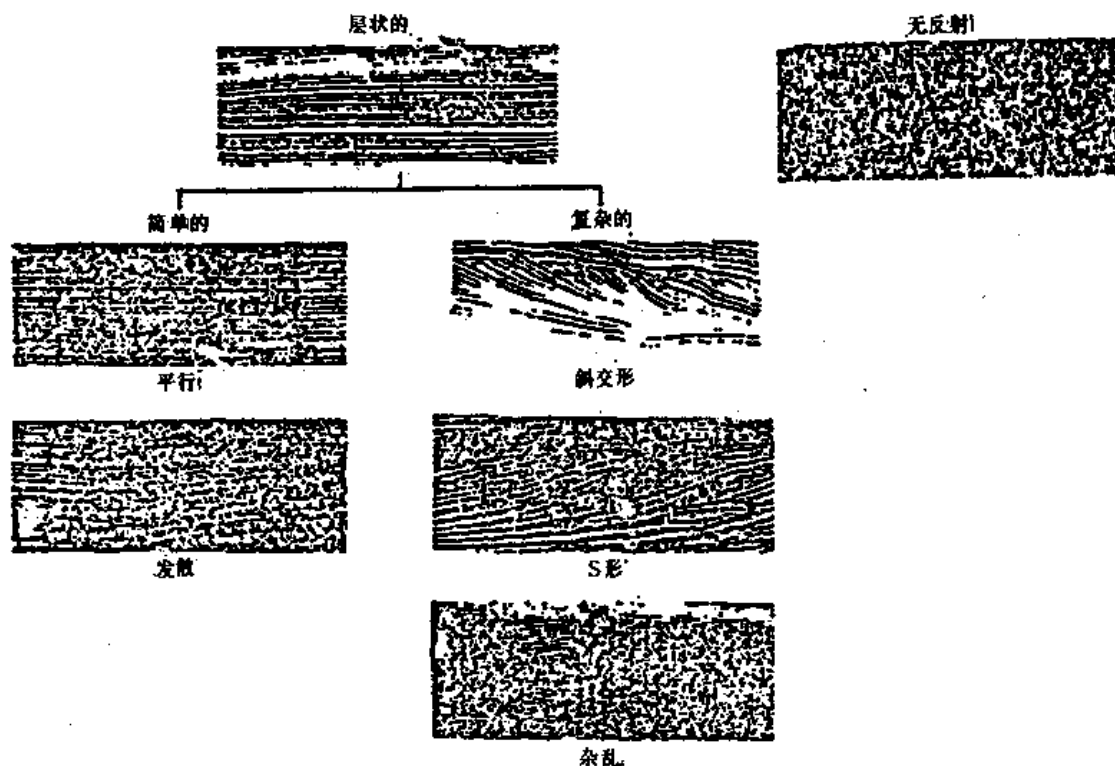


图1 典型反射结构  
(据 Vail 等, 1976)

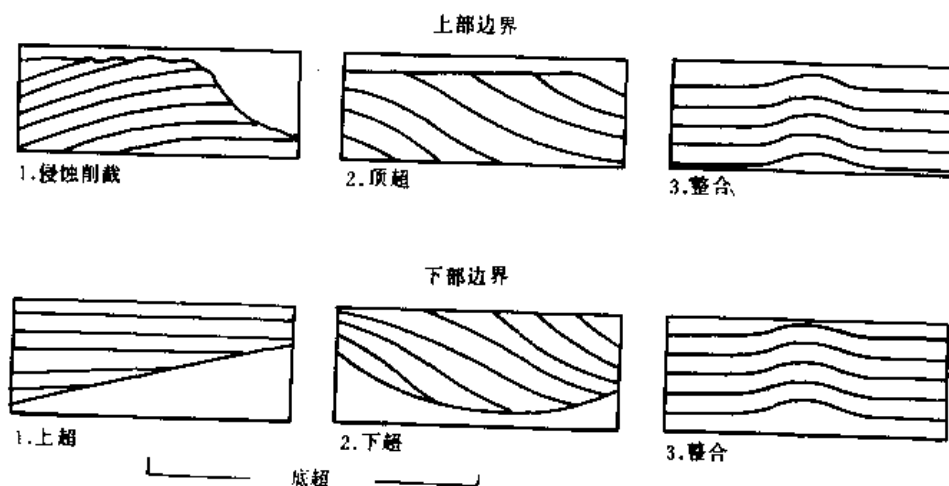


图2 地层与沉积层序边界的各种关系  
(据 Mitchum 等, 1977)

(2) 地震叠加时间剖面的质量高。

(3) 测量网密度要比常规构造勘探密, 以便确定波场重要特性在平面上的分布, 分析地震亚相单元。

(4) 有针对性地使用测井成果。主要依据声波测井、密度测井和垂直地震剖面成果编制地震声学模型, 作地震地层解释; 根据自然电位测井、 $\gamma$ 测井、 $\gamma$ - $\gamma$ 测

井、电阻率测井粒度资料等进行测井相分析, 作为地震相分析基础。

(5) 选用合适的地震资料处理方法。除了常用的真振幅恢复、反褶积及具有高精度动静校正的叠加外, 还需利用从地震资料中提取的各种参数, 主要是通过希尔伯特变换计算出的瞬时动力参数和从记录道反演获

得的虚层速度。

#### 参考书目

C. E. 佩顿,《地震地层学》,牛毓荃等译,石油工业出版社,1980。

L. F. 布朗, W. L. 费歇尔,《地震地层学解释与石油勘探》,曾洪流等译,石油工业出版社,1988。

(杨锡禄)

meixi gongbansheng kuangchan ziyuan

**煤系共伴生矿产资源** (associated mineral resources of coal measures)

含煤岩系中与煤共伴生的所有金属和非金属矿产以及煤中赋存的有工业价值的稀有分散元素、放射性元素和某些金属元素。近年来研究证实,煤成气和煤成油具有重要的经济价值。

含煤岩系中除主要矿产煤以外,还有高岭土(岩)、耐火粘土、铝土矿、膨润土、硅藻土、石墨、硫铁矿、油页岩、石膏、沉积石英岩、赤铁矿、菱铁矿、褐铁矿等多种矿产。其中,有工业价值的多为非金属矿产。

**研究意义** 从原始社会开始,人类就广泛利用非金属矿产,包括不作为金属原料提取利用的所有有用矿物和岩石。其中,少数用来提取某一种或几种非金属元素,绝大多数因其单独矿物或矿物集合体具有特殊的物理性质、化学性质和工艺性能,而被应用于国民经济建设中。六七千年以前,人类发现并利用了金属矿产,从此,金属矿产逐步取代了非金属矿产的主导地位。但随着科学技术的进步,目前在一些发达国家的非金属矿产的开发速度与产值,又已超过了金属矿产。据统计,在1945年以前,世界金属原料的开发速度大于非金属矿产。但20世纪50年代以来,情况有了很大的变化。1950年,世界非金属矿产产量比金属矿产高出20%。到1980年,已超出50%~60%。在一些发达国家,目前非金属矿产的总产值一般要比金属矿产的产值高出一倍。近20余年来,美国非金属矿产的消费量平均增长率为5.6%,而金属矿物原料的平均增长率仅为1.6%。中国非金属矿产资源产量增长速度远远高于世界各国。其中,1980年的石墨产量比1949年增长178.88倍,需求量也逐年增加;预计2000年高岭土的需求量为1949年的23.78倍。

新的技术革命正在世界范围兴起,而新材料又是新技术革命的核心之一。新材料包括金属材料、非金属材料、半导体材料、复合材料和合成材料等,其中,除金属材料外,后三者多少都与非金属矿产有关。当前,最引人注目的一些新材料,包括:精细陶瓷、光导纤维、

激光材料、复合材料等,则与非金属矿产的关系更为密切。可以说,对非金属矿产资源基础理论和开发利用的深入研究,将会促进经济的高涨和技术的重大变革。

**研究现状** 中华人民共和国建立后,对含煤岩系中的矿产资源,特别是非金属矿产资源的勘查、评价、开发与加工利用,作了大量的工作。近年来,许多煤矿、煤炭大专院校、科研机构陆续开展了对含煤岩系中非金属矿产的资源勘查,在加工利用方面,正在探索精加工和深加工途径。徐州矿务局利用优质高岭岩加工成造纸涂布级和填料级材料;蒲白矿务局利用“200”研焙烧出煅烧高岭土,其白度可达90%以上,可用作4Å分子筛原料及其它多种深加工产品原料。

**用途** 含煤岩系中的共伴生矿产,特别是非金属矿产在电子、机械、冶金、轻工、化工、纺织、建材、石油、食品、农林、环保、医药以及高新技术等许多工业中,有着非常广泛的用途。除传统用途外,随着科学技术的发展,人们对这些矿石中的主要组成矿物的化学成分、晶体构造、物理化学性质,以及矿物应用之间的相互取代的认识日益深入,又不断开拓出许多新的用途。如高岭岩的传统用途是做耐火材料和陶瓷原料,随着检测技术的提高,发现高岭岩主要由片状高岭石组成。超细磨粉设备、高梯度强磁选机的问世,以及剥片、漂白等技术的发展,可使高岭岩加工成质量极佳的高岭土,极大地缩小了“硬岩”与“软岩”的差别,拓宽了其工业应用领域。

随着工业的发展,对非金属矿产品的质量提出了更高的要求,从而促使非金属矿产的精加工和深加工迅速开展起来。高岭石在高温(1200~1500℃)和氮气气氛下,能与碳结合成SiC,能与氮结合成Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>和塞隆(sialon)。后者是一种新型高温、高强陶瓷,可代替金属,用作核反应堆、喷气飞机、火箭燃烧喷嘴等耐高温复合材料以及陶瓷发动机材料。膨润土、高岭土与有机物结合成有机粘土,使其成为功能性填料,应用于高分子材料、有机合成催化剂、高性能陶瓷材料等领域。

**资源概况** 中国含煤岩系中非金属矿产矿种繁多,储量丰富,分布地区广泛,赋存于多个地质时代。其中,高岭土(岩)、耐火粘土、硫铁矿多形成大型或特大型矿床;膨润土、硅藻土、石墨在煤系中也可形成大、中型,甚至特大型矿床。中国高岭土储量占世界高岭土总储量的59.23%;含煤岩系中的铝土矿(高铝粘土),其探明储量占世界铝土矿总储量的7.08%。中国膨润土储量居世界首位,且钠基膨润土占很大比例,其中48.29%赋存在含煤岩系中。中国硅藻土的储量亦居世界之首,其中70.95%赋存在含煤岩系中。中国隐晶质石墨的储量占世界总储量的40.86%,亦居世界

首位。

含煤岩系中的高岭土(岩)有相当部分质量优良。华北地区由大同往西经内蒙古、陕北直达宁夏石嘴山,广大范围内石炭二叠纪煤系的太原组和山西组煤层夹矸及顶、底板类型的高岭土(岩),有的矿层或块段矿石质量极好,其代表是大同黑砂石、蒲白“200”矸。江苏徐州,安徽淮北、山东明水、淄博等地下石盒子组中所产“焦宝石”型高岭岩,所含高岭石均在90%以上。铝土矿在华北主要赋存于本溪组下部G层铝土和下石盒子组底部B层铝土中,前者矿物成分以硬水铝石为主,含量可达40%~90%,次要矿物成分为高岭石,含量多在50%以下,后者 $Al_2O_3$ 含量>40%,甚至可达56%。这些高铝粘土矿床中,均含有低硅、低硫、低铁、高铝的优质矿石。含煤岩系中膨润土储量大,特别是钠基膨润土储量大,质量好。吉林省刘房子煤矿产出的钠基膨润土,其蒙脱石含量高达70%~90%,甚至超过了世界著名的美国怀俄明州产的钠基膨润土。含煤岩系中的硅藻土,主要产于第三纪和第四纪煤系中,多与褐煤共生,矿床储量大,但夹矸多,纯净的优质硅藻土较少。含煤岩系中隐晶质石墨品质优良,含碳量高,中国是世界石墨出口大国。最大的湖南郴州鲁塘石墨矿产出的矿石含碳量在80%~85%以上,广东佛岗县洞溪石墨矿品位为81.7%,吉林盘石矿矿石品位为66.3%。

开展煤成烃研究是当前一项重要科研任务。煤成烃是指含煤岩系中有机质(煤层和源岩中有机质)在煤化过程形成的碳氢化合物。其中气态的称为煤成气,液态的称煤成油。中国自“六五”攻关以来,对煤成烃研究有重大突破,确定鄂尔多斯大气田的气源之一即为煤成气;吐鲁番—哈密大油气田最近亦确定为煤成型。

(张鹏飞)

## meixinei huochengyan

**煤系内火成岩** (igneous rock in coal measures) 由于煤为有机岩,其机械强度小于含煤岩系内其它岩石,在高温岩浆作用下容易被熔蚀同化,因

而侵入含煤岩系的火成岩体大多沿煤层分布,破坏煤层与煤质,减少煤储量,复杂开采技术条件。

**分布与种类** 中国东部位于环太平洋的大陆边缘,中生代、新生代地壳运动强烈,岩浆活动频繁,东北地区辽宁阜新煤田、沈北煤田,吉林通化浑江煤田;华北地区河北兴隆煤田、井陘煤田、下花园煤田,北京京西煤田、京东煤田;华东地区山东陶枣煤田、淄博煤田、滕县煤田,江苏丰沛煤田,安徽淮北煤田,中南地区河南永城煤田、南岭煤田、兴梅煤田等的含煤岩系均有岩浆侵入,主要火成岩有:辉绿岩、微晶闪长岩、闪长玢岩、石英斑岩、花岗斑岩、正长斑岩、煌斑岩和细晶岩等,均属浅成岩和脉岩。其中,以辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩最多,其余相对较少。

**产状** 煤矿常见火成岩岩体分脉状、似岩盘状和层状三种。

**脉状火成岩岩体** 又称岩墙,以较陡的产状穿过含煤岩系,在平面上显条带状,宽度由数十厘米到80余米;长度由数十米到1000m以上的火成岩体。中国辽宁阜新平安煤矿有一条岩墙宽80~90m。它们对煤层破坏小,煤层接触变质带宽度仅1m左右。

**似岩盘状火成岩岩体** 岩浆顺岩层侵入后使顶部岩层发生隆起,据中国山东坊子煤矿所见,岩体直径50~70m;厚度一般4~6m,隆起地点可达26m;对相邻煤层产生岩浆热变质作用。

**层状火成岩岩体** 又称岩床,多数沿煤层分布,岩浆呈单层侵入,或多层侵入,但以单层侵入现象较多。岩浆可以沿煤层顶板侵入,也可沿煤层中间或煤层底板侵入。岩体在煤层内显示的形状多种多样,随离岩浆源的远近和巷道与岩浆侵入方向之间关系而异。图1反映巷道近似平行于岩浆侵入方向,可以看出岩体的分岔,分岔后岩体变薄;图2反映巷道近似垂直于岩浆侵入方向,分岔岩体在此显示为两个岩体。岩体的边缘部位还可呈平行煤层层理的扁豆状。了解岩体在空间的分带现象,可对掘进前方岩浆岩对煤层的破坏程度作出预测。中国河北兴隆汪庄矿第七煤层总厚度达17~21m,煤层内均匀分布3~5层火成岩岩体,每层岩

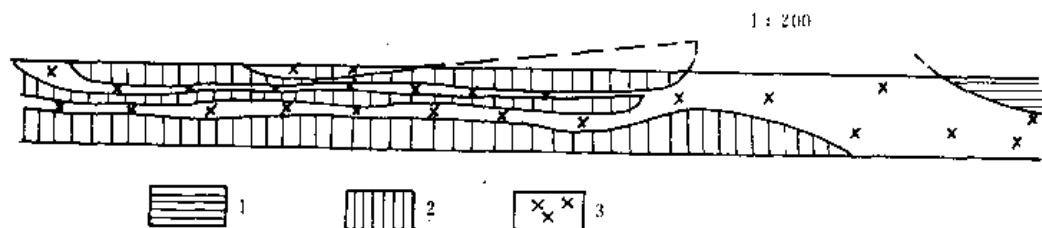


图1 中国淮北张庄矿东大巷配风巷火成岩素描图

1—页岩; 2—天然焦; 3—火成岩岩床

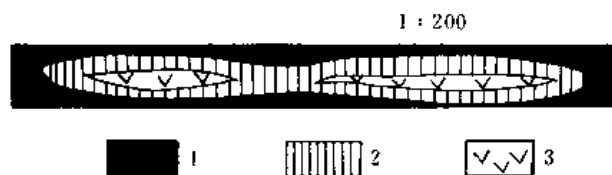


图2 中国淮北朱庄矿—250m 水平  
四采区工作面火成岩素描图  
1—煤；2—天然焦；3—火成岩岩床

体厚度由 0.8~2.2m 不等,以 1.1m 为多,倾斜长度可达 270m 以上,走向长度达 215m 左右。

**分布规律** 根据勘探和开采揭露的地质资料,含煤岩系中层状火成岩岩体的厚度、分布面积,受煤层厚度、火成岩种类和岩浆源丰富程度的制约。

中国淮北肖县向斜中部,辉绿岩、花岗斑岩主要侵入在下石盒子组的主采煤层三煤层及其顶底板中。该煤层厚达 2.7~4m,辉绿岩分布面积达 38.2km<sup>2</sup>,火成岩最厚达十多米;花岗斑岩入侵 14.83km<sup>2</sup>。辉绿岩分布面积远大于花岗斑岩。山东滕县南部的许楼井田,煌斑岩、闪长玢岩主要分布在山西组的主采煤层三上煤

层内,该煤层平均厚度为 3.23m。46km<sup>2</sup> 的井田范围内,三上煤层内的火成岩分布面积约占 1/2,煌斑岩分布面积远大于闪长玢岩分布面积。

火成岩种类不同,其矿物组成和所含的化学成分也不同。据当代熔岩岩温测定,基性玄武岩 ( $\text{SiO}_2 \cong 48.25\%$ ) 的熔岩温度在地表稍大于 1200℃,而酸性的流纹岩 ( $\text{SiO}_2 \cong 70.40\%$ ) 的熔岩温度为 800℃。中性岩的熔岩温度介于两者之间。侵入岩的温度应略高于喷出岩温度。岩浆粘度变化大,可由 10Pa·s 变到超过 100kPa·s。除温度因素外,  $\text{SiO}_2$  的含量也会影响岩浆的粘度,  $\text{SiO}_2$  含量增加,岩浆粘度增大。在自然界可见到分布面积广、平躺的玄武岩岩被;而流纹岩多呈岩钟、岩针等熔岩穹丘。因此,煤层内顺层分布较大的岩床,多数为基性的辉绿岩、煌斑岩、闪长玢岩;而分布范围小,岩体厚度变化大的则多属酸性岩体。

离岩浆通道近的地段,煤层内火成岩岩体厚度大,离岩浆通道远的地段,火成岩岩体多变薄或尖灭。

**对煤层的破坏** 岩浆侵入煤层对煤层的破坏,主要表现为岩浆熔蚀并取代煤层,在接触带产生一圈天然焦。厚度同样大的层状岩浆侵入,以顺煤层中间侵入者破坏性最大,在其上、下都形成天然焦,往往导致整个煤层失去开采价值;其次是顺煤层底部侵入,岩浆内

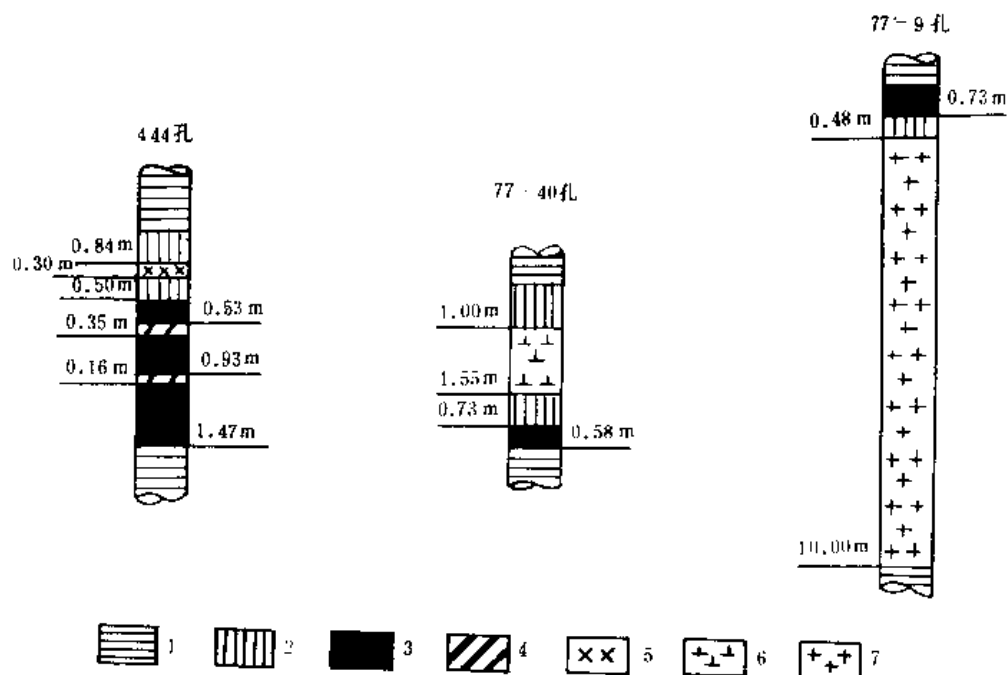


图3 不同类型岩浆侵入体在煤层中形成不同厚度的天然焦  
1—页岩；2—天然焦；3—煤；4—碳质页岩；5—辉绿岩岩床；6—闪长玢岩岩床；7—花岗斑岩岩床  
(据淮北石台矿资料)

的挥发物 and 高温进入煤层上部, 往往形成较厚的天然焦; 相比之下, 沿煤层顶部侵入时, 所形成的天然焦层较薄, 往往保留可采的煤层厚度。在火成岩岩体边缘部分的舌状岩体之间, 煤层往往保留完整, 应该进行探寻。此外, 火成岩的不同岩石类型由于其岩浆温度和成分的差异, 也影响天然焦的厚度 (图 3)。

**岩浆侵入机制** 岩浆侵入有两种机制。一是熔蚀同化煤层; 二是顺层理尖劈贯入。①熔蚀同化。高温岩浆在内部压力的驱使下, 边侵入边熔化煤层, 煤层顶、底板之间的距离并未改变。②尖劈贯入。高温岩浆在内部压力驱使下, 沿煤层层理面挤入, 并把上部地层抬起, 煤层原有厚度不变, 又增加了贯入岩体的厚度。自然界也存在过渡型, 显然这和岩浆温度, 煤的熔点 (约 450℃) 和岩浆入侵时压力, 煤层上覆地层的静压力等因素有关。

**探测方法** 煤田或井田范围内有无火成岩侵入体, 通常在普查阶段即可确定。在精查阶段, 对较大火成岩岩床可基本圈定其范围。在精查地质报告中在被岩浆侵入煤层的底板等高线图上, 应圈出各类火成岩的分布范围, 绘制火成岩岩体等厚线图, 标明煤层的可采边界。在勘探线剖面图下面的煤层结构图中, 应反映火成岩、天然焦在煤层内分布的状态。煤矿开采阶段, 一般可在精查工作基础上, 根据各矿的特点, 用物探、钻探、巷探方法, 进一步圈定火成岩岩体边界, 区分煤层可采与不可采范围。对基性岩体, 当其埋深不大时, 可在地面用磁法勘探圈定岩体边界。

#### 参考书目

武汉地质学院岩石教研室, 《岩浆岩岩石学》, 地质出版社, 1980 年。

丛柏林, 《岩浆活动与火成岩组合》, 地质出版社, 1979 年。

(陆国桢)

#### meixi shengwu xiang

#### 煤系生物相 (biofacies of coal measures)

煤系岩石中可反映沉积环境的古生物特征。不同生物组合指示水盆地的含盐度、古水深和古水温等沉积环境。根据现代海洋和陆地不同环境其生物群和生态特征不同的现象, 运用将今论古的类比方法, 可据以推断古代地层中生物生活时的环境。绝灭门类的化石所反映的沉积相, 通常根据其共生组合、沉积物分布和岩性特征进行判断。

**生物群的指相作用** 古生物化石是区分海相和非海相环境的突出标志。①高等植物化石的大量出现是陆相的标志。②沿层面分布的完整的植物叶部化石, 指示湖泊等平静的水体环境。③植物根部化石大量出现,

是沼泽相的特征。④大量植物碎片的出现, 则可能是河流边滩或浅湖沉积。⑤树干常见于河床沉积物中。⑥孢子花粉主要见于陆相和过渡相沉积。⑦在藻类化石中, 蓝绿藻适应能力最强, 它可在不同环境中生存; 叠层状, 表明海和盐湖环境; 而树枝状或分离的团块状藻类, 则是淡水环境的特征; 绿藻中海松科和伞藻科以及红藻, 是海相的, 而轮藻则主要是陆相的。⑧脊椎动物化石中除了一部分鱼之外, 主要指示陆相。⑨无脊椎动物化石中, 原生动物门的有孔虫亚纲、放射虫亚纲, 腔肠动物门, 腕足动物门, 苔藓动物门, 软体动物门的掘足纲、原软体纲、有板类、头足纲, 节肢动物门的三叶虫纲, 甲壳超纲的蔓足亚纲和棘皮动物门等许多门类都指示海相, 海绵类主要也是海相的。古杯类、层孔虫等一些绝灭的门类, 是典型的海生生物。含有大量的浮游生物化石的沉积物, 主要为深海成因的。某些苔藓虫、舌形贝和移动的棘皮类, 能够生活在从正常含盐度到淡化、咸化的海水环境中。有孔虫主要是海相生物, 少数属种也能适应半咸水条件, 但常与非海相的软体动物、介形虫和轮藻等共生。瓣类生物主要生活于正常盐度的浅海环境, 少数可适应半咸水环境。软体动物、介形虫在不同环境中都可以生存, 可根据它们的形态、种属和数量等进一步区别海相、陆相或过渡相, 复足纲的后鳃亚纲主要生活在海相环境, 而有肺亚纲则生活在陆相淡水环境; 瓣鳃纲的节齿目主要生活在海相环境。⑩当陆生和海生软体动物混杂出现时, 往往代表滨海环境。海相与陆相介形虫混生是滨海环境的特点; 在半咸水环境中生活的介形虫种属虽不多, 但数量很多。

**利用古生态判断古水盆地的含盐度** ①簕、古杯类、珊瑚、层孔虫、有铍纲腕足动物、棘皮动物、头足动物、三叶虫、钙质红藻、钙质绿藻等只能适应正常盐分的生物, 称为狭盐性生物。盐分稍有变化, 这些生物就不能生存。②瓣鳃动物、腹足动物以及介形虫等可适应盐分变化的生物, 称为广盐性生物。③正常盐分的古海洋中, 生物化石门类多, 属种丰富, 而淡化海中化石门类大量减少, 属种贫乏, 而且很多生物往往会失去碳酸钙硬壳, 骨骼成分有所改变。当海水盐分比正常海稍有增加时, 珊瑚、棘皮动物和头足动物等狭盐性生物全部死亡; 腕足动物、苔藓动物则大量减少, 而瓣鳃动物和介形虫等广盐性生物反而增加。当海水盐分继续增加时, 狭盐性生物全部灭绝; 腹足动物、瓣鳃动物贫乏, 只有蠕虫、特殊的甲壳动物和某些菌藻类等极少数生物能够适应 50‰以上的高盐分环境中生活。

**利用生态判断古海洋的深度** 目前能利用生态判断深度的还只限于陆棚区, 因为在现代海洋深度小于 200m 的范围内, 海生生物比较繁盛, 便于古今对比。现



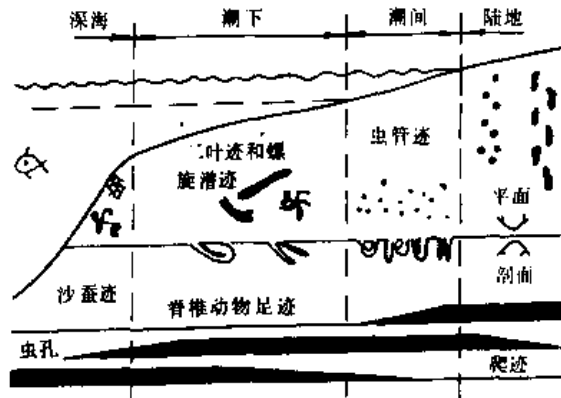
代底栖藻类的分布以15~50m左右最丰富,估计古代藻类的生存环境应是近岸的浅水带。现代其它海洋生物则绝大多数集中在陆棚上部,大致在100m的深度范围内,特别是0~50m范围内有大量底栖有孔虫、瓣鳃类、腹足类、造礁珊瑚、钙质海绵和无铰纲腕足动物。100~200m深度之间,生物逐渐减少,但仍有很多苔藓虫、有铰纲腕足动物、海绵和海胆等。200m以下深处的底栖生物主要是硅质海绵、少数薄壳腕足动物,也可出现海百合。据此,通过古今类比,可判断古海洋深度。

古水盆地基底的坚硬程度,可通过研究底栖动物固着或移动的生活方式来加以判别,坚硬光滑的海岸和水底往往被波浪冲刷侵蚀得缺少沉积物,除了牡蛎等少数能粘附固着的生物外,大多数是管状孔生活的生物。海岸附近的流砂不适于动物固着,却适应活动性大的生物采取埋藏方式潜穴生活。静水区松软的泥质基底,往往适应薄壳小动物生活,只有泥、砂混合的基底,同时适于居住固着、移动和潜穴生物生活。

**确定古气候和古海洋温度** 亚热带、热带的植物化石群可指示古陆地上的温暖、炎热气候。古生代的节蕨植物、石松植物,中生代的真蕨植物、苏铁植物,新生代的棕榈和樟树,都是热带气候的指示性植物。气候在地表上的分带,对于海洋生物的分布同样具有重要意义。它决定着不同生物区系的生物种类和数量。一般情况下,热带海洋中可以大量繁殖造礁生物和许多厚壳无脊椎动物。因此,巨厚的石灰岩沉积和礁相石灰岩通常是温暖浅海的产物。根据寒带古脊椎动物化石确定寒冷气候,特别是对新生代冰期地层,往往得到准确的判断。由于水中氧同位素比值 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 和碳同位素比值 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 随温度降低而减小,因而有的学者利用化石介壳碳酸钙中的 $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ 比值和沉积碳的 $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ 比值来测定古水温。

**遗迹化石** 保存在沉积岩中的生物活动和生存的遗迹、主要有足迹、爬迹、潜穴和根痕等。①足迹。是脊椎动物的行迹。②爬迹。包括无脊椎动物爬行的痕迹和觅食行迹。③潜穴。是生物栖息时在沉积物中挖掘的虫孔。按其形态,可分为管状潜穴、U形潜穴、枝状潜穴和蛇形潜穴等;按其于层面的关系,可分为水平潜穴、斜交潜穴和直立潜穴。④根痕。是植物生长的遗迹,它是煤系地层特有的遗迹化石。遗迹化石是判别沉积相的良好标志。足迹多见于干旱的湖泊、河漫滩和潮上带。深的直立的潜穴在滨海、潮间带最常见,因为那里波浪、潮汐作用强,温度、盐度变化大,生物要生存必须挖掘直穴。浅海区,环境因素变化小,底栖生物潜穴较浅而平。在陆棚、中深海区,由于环境相对安定,食泥生物在层面上留下各种弯曲状、网状或螺旋状的觅

食迹和爬迹。缺乏遗迹化石则是深静水的证据(下图)。



不同环境的特征痕迹化石相  
(据 R. C. Selley, 1976)

利用古生物群和生态特点来推断沉积相和古水盆地的性质,虽有效却又并非万能。首先,现代某些生物属于海相或陆相,并非绝对,因为有些海鱼往往回游到河流中产卵。其次,某些生物古今生活环境有所差异,现代主要属陆相的轮藻,在古生代曾是海相生物。再次,化石群的埋葬群和反映环境的生物群之间有时并不一致,陆相生物的遗骸可以被河流带入海洋;海生生物也有可能被潮汐水流带上陆地,所以生物相的确定也有一定的局限性。

#### 参考书目

- 杨起、韩德馨等,《中国煤田地质学》上册,煤炭工业出版社,1979。  
何心一、徐林荣等,《古生物学教程》,地质出版社,1987。  
同济大学海洋地质系,《海、陆相地层辨认标志》,科学出版社,1980。  
杨式溥、李凤麟等,《古生态学》,中国工业出版社,1963。  
杨式溥,《古遗迹学》,地质出版社,1990。

(杨锡禄)

meixi yanshi xiang

**煤系岩石相** (lithofacies of coal measures)

煤系中可反映沉积环境的岩石特征,主要包括:沉积岩的岩石类型、颜色、成分、结构和构造、分选性、磨圆度及岩体形态等。它们可反映物源成分、搬运距离、古气候、古构造条件等,是沉积环境在岩石学方面的体现。综合分析这些特征,对辨认沉积环境具有重要意义。

**岩石类型** 煤系岩石类型多样,并有各类岩石的



过渡类型。组成煤系的岩石以碎屑岩和泥质岩为主，其次为碳酸盐岩和可燃有机岩（煤和油页岩），并常见铝质岩、硅质岩和铁质岩等。当煤系形成过程中伴有火山喷发时，还可出现各类火山岩及火山碎屑岩。从各类岩石及其物质成分的组合特点来看，既有陆源物质，又有内源物质，还有火山源物质。

**碎屑岩** 以碎屑物质为主的岩石。它按粒径可划分为：砾岩、砂岩和粉砂岩。不同沉积条件下形成的碎屑岩，在粒径、成分和结构上都有差别。

**泥质岩** 主要由粘土矿物及50%以上粒径小于0.0039mm的细碎屑组成的岩石。有页理者称为页岩，粘土矿物含量超过50%者称粘土岩，包括单矿物的高岭石粘土岩、蒙脱石粘土岩、伊利石粘土岩，以及混合成分的复矿粘土岩。泥质岩可与砂岩、粉砂岩和有机质形成一系列过渡类型的岩石。目前常将泥质岩归入碎屑岩，而将粘土岩单独划分出来。

**碳酸盐岩** 主要由碳酸盐矿物方解石、白云石和菱铁矿组成的岩石。碳酸盐岩按所含主要矿物成分可划分为：石灰岩、白云岩和菱铁岩及其过渡类型，并常含陆源混入物粘土、粉砂和砂。

**火山碎屑岩** 火山喷发的碎屑物质经沉积、固结和成岩作用而形成的岩石。它按火山碎屑成分、含量和粒度分类，煤系中常见的是细粒火山角砾岩和凝灰岩以及层火山角砾岩、层凝灰岩、凝灰质砂岩、凝灰质粉砂岩、凝灰质粘土岩和凝灰质灰岩等火山碎屑岩与沉积岩的过渡类型岩石。

上述各种类型的岩石，虽然在海相、陆相及过渡相环境下几乎都可形成，但是岩性与沉积环境仍有一定关系（图1），尤其是结合岩体的原生沉积构造、沉积结构、岩体几何形态、在地层序列中的位置和侧向变化情况，可以判别沉积环境。

**岩石的颜色** 除了取决于岩石成分、颗粒大小、杂质种类及含量、风化程度等因素之外，还与其沉积环境密切相关。岩石中含有较多的硫化铁或有机质时，呈灰黑色、黑色，表明形成于还原或强还原介质条件，与沼泽、湖泊、海湾潟湖环境有关；岩石含有低价铁硅酸盐矿物（鲕绿泥石、海绿石）时呈绿

色，表示形成于弱氧化或弱还原介质条件；岩石中含有铁的氧化物或氢氧化物时，呈黄色、褐红色，表示形成于氧化或弱氧化介质条件，常为大陆或海陆过渡带陆源碎屑岩的颜色。比较纯的碳酸盐岩、石英砂岩、高岭岩等常具有灰色、白色。煤系一般形成于潮湿气候和相对还原介质条件，因而组成煤系的沉积岩的颜色主要为灰色、灰黑色、黑色和灰绿色。

**岩石的物质成分** 包括碎屑物质和自生矿物。前者是母岩机械破碎的产物，反映陆源区的一些特征；后者反映沉积盆地的水化学和地球化学特征，具有比较重要的环境意义。一般认为，自生长石、沸石，是湖泊相沉积的标志，较多地出现海绿石和鲕绿泥石是海相沉积的标志；磷块岩的大量出现，标志着水深为数十米至300余米的浅海环境。石膏、硬石膏、盐类等蒸发岩矿物，是浅海、潟湖和盐湖的沉积。

岩石中矿物成分的复杂程度也反映形成环境：河流和三角洲砂岩的成分比较复杂，而滨海、浅海砂岩的成分比较单一。进行相分析时，对岩石中碎屑矿物进行统计，并且找出它们和各种沉积相的关系，有利于确定沉积相。

**沉积岩的结构** 沉积岩内各种组成物质的颗粒大小、形态和它们间的相互排列关系。对于碎屑岩来说，包括碎屑颗粒特征、杂基、胶结物和孔隙的特征以及碎屑颗粒与杂基和胶结物之间的关系。碎屑颗粒特征包括碎屑的粒度、分选性、颗粒形态、表面特征等。

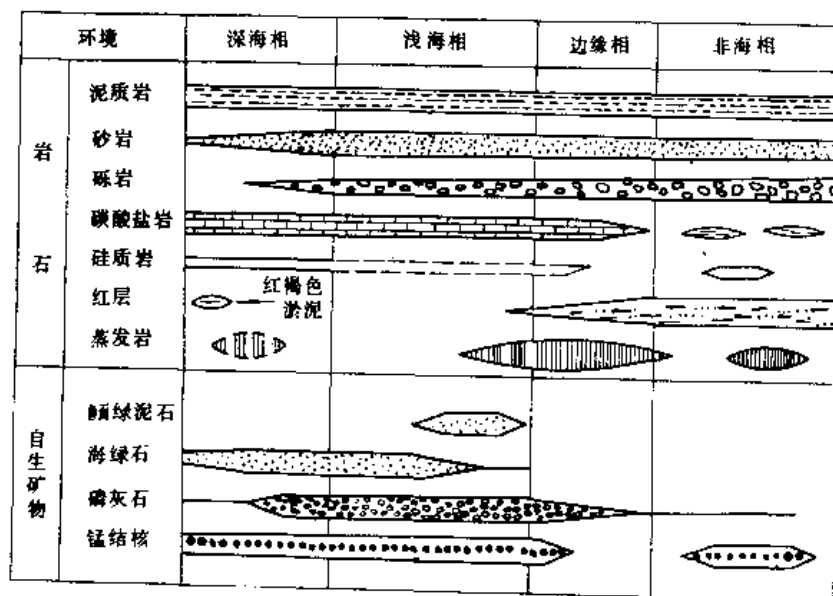


图1 各种岩石类型与若干自生矿物的分布范围

(据 P. H. Heckel, 1972)

**粒度** 碎屑颗粒的大小。粒度是衡量沉积能量的一种尺度。沉积能量的高低,与水流或波浪的强度成正比,粗粒沉积物出现于高能环境,细粒沉积物出现于低能环境。即:河流沉积物的平均粒度向下游方向随水流减弱而逐渐减小。粒度级别的划分方法有多种,一般采用比较直观的十进制粒级划分,但其间隔分得较粗。颗粒越细越难以表示清楚。为了克服这一缺点,现也有人采用 $\phi$ 值( $\phi$ 值与颗粒直径 $D$ 之间的换算公式为 $\phi = -\log_2 D$ )作为划分粒级的单位(伍登-温特华斯粒级标准),在正态概率图纸上绘图(图2)这样,能使含量较少的粗、细尾部得以放大,灵敏地反映出沉积的水动力学特征。



图2 概率累积曲线图

**分选性** 碎屑颗粒大小的均匀程度或相对集中程度,又称分选程度。一般将分选程度粗略地划分为好、中、差三级。分选程度主要取决于搬运条件与搬运距离。一般地说,风搬运沉积物的分选性比水搬运的要好,因为风速变化范围较小,风能携带的砂的粒级范围比较窄,以细砂为主,含少量中砂和粉砂,所以风成沙丘的分选性好;滨海(湖)沉积物的分选性比河流的要好,因为海(湖)的波浪作用是往复运动,沉积物经受多次的搬运和分选;由于河流的流速变化范围大且变化频繁,因而河流沉积物的分选较差;冲积扇是在山谷出口处由暂时性洪水形成的山麓堆积物,其分选性极差。

**颗粒形态** 包括颗粒的形状、圆度和球度。圆度随搬运距离和时间的增长而提高。砾石的圆化效应比砂

粒明显。搬运介质亦影响碎屑颗粒的圆化效应。影响碎屑颗粒形状的因素,除碎屑颗粒的矿物硬度、结晶习性、原始轮廓外,还与沉积环境有关。扁球状砾石常见于低能海滩环境中;河流环境中则以长扁球、椭球砾石为主。

**颗粒表面结构** 包括各种形状的凹坑,矿物的溶解、沉淀、剥落等现象,对识别沉积环境、古气候以及指示搬运介质的类型具有一定意义。V形坑是动荡水介质中碎屑颗粒相互机械碰撞的产物;贝壳状断口是受外力撞击破碎或物理风化而成;光滑面是缓慢机械磨损的结果;石英颗粒表面溶蚀呈蜂窝状,与温热的气候条件有关。

碎屑岩杂基的性质和含量反映水动力条件,亦具环境意义。碎屑岩根据杂基的含量,可以划分为杂基支撑和颗粒支撑两种结构类型。杂基支撑结构中,杂基含量一般大于25%,碎屑颗粒彼此不接触,是快速堆积的特征,在冲积扇中常见;颗粒支撑结构的杂基含量一般小于10%。碎屑颗粒彼此接触,是搬运过程中细小杂基大部分被簸选掉的结果。

过去认为,碳酸盐岩是单一的化学沉积,经近20年来的深入研究后认为,碳酸盐岩是由生物作用、机械作用和化学作用共同形成。其结构、构造与碎屑岩有很多相似之处,以粒屑、泥晶、亮晶三者的含量进行分类,其不同组合关系反映了岩石不同的形成条件。

**岩相图** 以资料统计为基础的岩相古地理研究方法。由W. C. 克伦宾(W. C. Krumbein)和L. L. 斯洛斯(L. L. Sloss)等人提出。①对研究区内不同地点发育的同一层段,用统计方法求出其砂岩泥岩比、碎屑岩比、砂岩百分比及化学岩百分比。②通过三角图和棒带图等确定其所属的相区(包括:碳酸盐岩相、砂岩-碳酸盐岩相、碳酸盐岩-砂岩相等)。③将这些资料反映到平面图上并辅以各种等值线,即得出岩相图。用各种岩相图、地层等厚图、古生物相图等进行综合分析,可达到恢复沉积相和古地理环境的目的。这种方法在煤田地质部门应用比较广泛。

#### 参考书目

- F. J. Pettijohn: Sedimentary rocks, 3rd Edition, Harper & Row, New York, 1975.
- H. Blatt et al.: Origin of sedimentary rocks, 2nd, ed. Prentice-Hall, New Jersey, 1980.
- R. W. Fairbridge, J. Bourgeois: 《The Encyclopedia of sedimentology》, 1987 by Dowden, Hutchinson & Ross Inc.

(杨锡禄)



mei xianwei yingdu

**煤显微硬度** (microhardness of coal) 显微镜下可识别的煤的显微组分的抗压强度。不同煤级和不同显微组分的显微硬度不同。在研究中,一般以均质镜质体的显微硬度为代表。它是用专门的显微硬度仪进行测定的。测定时,在放大400~500倍的条件下,以一定的静压力把维氏锥体金刚石压头压入显微组分光洁的表面,测定其压痕对角线长度,经计算求得。

随着煤级的增高,煤显微硬度也有变化。

(1)从褐煤到超无烟煤,煤显微硬度值可从98.1N/mm<sup>2</sup>变到2942.1N/mm<sup>2</sup>。变化过程可分为两大阶段,即①在碳含量小于89%, $R_o$ 小于1.8%的低、中煤级阶段,煤显微硬度变化幅度小,由98.1N/mm<sup>2</sup>变化到392.3N/mm<sup>2</sup>,呈一上凸的弧形曲线,弧顶在碳含量为80%、 $R_o$ 为0.8%附近;②在碳含量大于89%、 $R_o$ 大于1.8%的高煤级烟煤、无烟煤和超无烟煤阶段,煤显微硬度随煤级增高而呈直线快速上升,从294.2N/mm<sup>2</sup>左右急增至近2942.1N/mm<sup>2</sup>。

(2)同一煤级中,当镜质组还原性增强时,煤显微硬度略微降低。

(3)同一煤样中,煤显微硬度最大值与最小值间亦存在微小差异,反映出非均一性。

煤显微硬度可作为高煤级煤的分类指标。用于同煤级煤的镜质组还原性的相互比较。在研究改善煤层开采方法、采煤机械选型、煤层气开采的压裂完井以及煤加工利用和处理等方面有一定意义。

(潘治贵)

mei xianwei zufen

**煤显微组分** (coal maceral) 显微镜下可识别的煤中单一的有机组成部分。该术语是1935年由英国M. C. 斯托普丝(M. C. Stopes)首次提出,其词源系拉丁文的 macerare, 含分离、软化、浸提的意思。

显微组分是在煤化作用第一阶段由原始成煤植物的不同器官和组织演化而形成。在某种意义上,显微组分与无机岩石中的矿物相当,但显微组分的化学成分和物理、化学性质并不固定,而是随其煤化程度而递变。显微组分不含在光学显微镜下可识别的矿物,但可含有在光学显微镜下难以鉴定的亚微米级矿物和微量元素。

煤中各种显微组分的含量及其组合是影响煤的化学性质、物理性质和工艺性质的主要成因因素。

**鉴定标志** 在反射光下,光片中显微组分的主要

鉴定标志是反射率(以 $R_{c,546}$ 为准)、反射色、形态和结构、磨损硬度(突起)、荧光性和各向异性等。在透射光下,薄片显微组分的主要鉴定标志是透射色、形态和结构以及荧光性等。

**分类** 不同类别煤的用途不同,其显微组分的特征和性质亦不同。因此,褐煤和硬煤(包括烟煤和无烟煤)各有其显微组分分类。

(1)国际硬煤显微组分分类,将成因和性质大体相似的显微组分归类为显微组分组(maceral group),共分镜质组、壳质组和惰质组等三个组分组。显微组分依据成因和结构的差异,可细分为显微亚组分(submaceral),如无结构镜质体可分为均质镜质体、胶质镜质体、基质镜质体和团块镜质体四种显微亚组分。根据显微组分的解剖结构和形态,有时可以识别成煤植物的门类,分出显微组分种(maceral variety),如结构镜质体可区分出鳞木结构镜质体、封印木结构镜质体、科达树结构镜质体等显微组分种。应用浸蚀法、电子显微镜法等特殊方法揭示出的普通光学显微镜下无法发现的显微组成的结构和细节,称为隐显微组分,如隐结构镜质体、隐胶质镜质体、隐团块镜质体、隐碎屑镜质体等。

(2)国际褐煤显微组分分类,将显微组分分为腐植组、稳定组和惰质组三个显微组分组。在腐植组依据植物组织结构的保存程度和降解破碎程度,分为结构腐植体、碎屑腐植体和无结构腐植体三个显微组分亚组;按其凝胶化程度和形态等特征,可再细分出相应的显微组分和显微亚组分。

各国除广泛应用国际硬煤、褐煤显微组分分类外,有些国家还根据本国煤岩特点,建立了各自的显微组分分类。中国烟煤显微组分分类,除分为镜质组、壳质组和惰质组等三个组以外,还划分出性质介于镜质组和惰质组之间的半镜质组;在壳质组中划分出了中国特有的树皮体。(见硬煤显微组分)。前苏联烟煤显微组分分类(国家标准)中,也划分出半镜质组这一显微组分组。在美国的分类中,与半镜质组相似的显微组分称为假镜质组。

1960年,苏联Ю. А. 热姆丘日尼柯夫(Ю. А. Жемчужников)和А. П. 金兹堡(А. П. Гинзбург)提出的显微组分分类方案,是侧重于成因研究的分类(下一页表)。

该分类按木质纤维素组织所经受的凝胶化作用或丝炭化作用,分为凝胶化组、弱丝炭化组和丝炭化组三个显微组分组,每组中再以植物细胞结构保存的完好程度来表示凝胶化程度。植物细胞结构保存完整,基本上未经受凝胶化作用,细胞壁未膨胀或稍有膨胀,细胞排列整齐者,称为木煤,植物经受凝胶化作用,细胞壁

显微组分的分组

| 组     | 显 微 组 分   |
|-------|---|
| 凝胶化组  | 木煤<br>木质镜煤<br>镜煤（无结构的、隐结构的、结构的）<br>菌核<br>基质（均一的、团块状的） |
| 弱丝炭化组 | 半丝炭<br>木质镜煤—半丝炭<br>镜煤—半丝炭<br>菌核<br>基质                 |
| 丝炭化组  | 丝炭和木煤—丝炭<br>木质镜煤—丝炭<br>镜煤—丝炭<br>菌核<br>基质              |
| 角质组   | 小孢子<br>大孢子<br>花粉<br>角质层<br>木栓质物质                      |
| 树脂组   | 树脂体<br>类树脂形成物   |
| 藻类组   | 藻类<br>腐泥基质  |

（据 K. A. 热姆丘日尼柯夫和 A. II. 金兹堡，1960）

膨胀，细胞腔缩小，排列不整齐，大小不一者，称木质镜煤；植物经受较强的凝胶化作用，一般已看不出细胞结构，但仍保持组织清晰的轮廓，具凝胶性质，不含其它杂质者，称为镜煤；植物经受强烈的凝胶化作用，变为分散流动的溶胶，以后再凝聚并胶结其它各种显微组分和矿物杂质者，称为凝胶化基质，简称基质。丝炭化组显微组分的划分和命名，基本上同此。鉴于树脂系分泌物，其化学性质和组成有别于大、小孢子，花粉，角质层和木栓质物质，故此将其单独列为一组，称树脂组；而后者则归入角质组。藻类属于低等植物，其组成和结构与高等植物有很大不同，也单独列为一组，称藻类组。该分类共有 24 个显微组分，归属于六个显微组分。

#### 参考书目

International Handbook of Coal Petrography, International Committee of Coal Petrology, Supplement to the 2nd Edition, Centra National de La Recherche Scientifique, 15, Quai Anatole-France, Paris (7<sup>e</sup>) France, 1971.

K. A. 热姆丘日尼柯夫、A. II. 金兹堡，《煤岩学原理》，陈钟惠、李廉清译，科学出版社，1965。

（任德貽）

mei xianwei zufen yingguang fenxi

**煤显微组分荧光分析** (fluorescence analysis of coal maceral) 用装配有荧光装置的显微光度计测定煤中显微组分荧光特征的分析方法。它用以研究煤的组成、性质和成因，广泛应用于烃源岩组成和成熟度评价，也用于煤的化学工艺性能研究。

褐煤及低、中煤化烟煤 ( $R_o < 1.50\%$ ) 中的壳质组和一些镜质组，在紫外光或蓝光的照射下，能发出可见的荧光，其颜色、强度和光谱特征主要取决于显微组分种类和煤化程度。早在 1936 年，Schocharadt 就应用荧光观察腐植煤，近 20 年，随着具有荧光装置的高灵敏度显微光度计的问世，加快了显微荧光分析方法的推广和应用。

煤的显微荧光分析，包括对荧光强度、荧光变化和荧光光谱三方面的测试和参数计算。

**荧光强度测定法** 又称单色荧光光度法。它与反射率测定法相似，是通过与标准样的对比，确定待测显微组分在一定波长上的荧光强度。目前通用的标样是无铈铈玻璃，以其荧光强度作为 100%，将待测显微组分的荧光强度与之对比，得出显微组分的相对荧光强度。通常测取波长为 546nm 处的单色相对荧光强度，以  $I_{546}$  表示，适用于壳质组分荧光强度的测量。由于绝大部分腐植组（镜质组）的荧光色主要分布在橙至红区（波长  $> 600\text{nm}$ ）范围内，在短波区内的荧光强度很弱，因而也可用波长为 650nm 处的单色相对荧光强度  $I_{650}$  表示。

大量研究资料表明，只有具有荧光的显微组分，才具有形成液态烃的潜力。

**荧光变化 (fluorescence alteration) 测定法** 测定显微组分的荧光强度随激发光照射时间延长而改变的

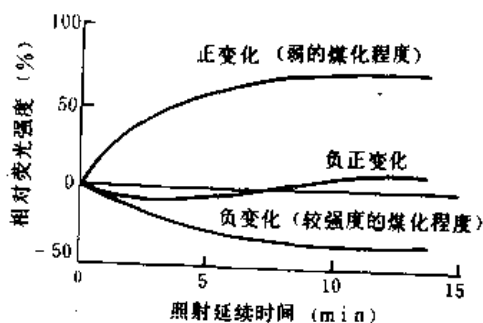


图 1 三种荧光强度变化曲线

（据 Ottenjann, 1982）

性质。1982年, K. Ottenjann 总结出荧光强度变化曲线的三种类型: 荧光强度增加为正变化, 减少为负变化, 先减少后增加为负正变化 (图 1)。

**荧光光谱测定法** 测绘荧光强度随波长变化的分布曲线的方法。各种显微组分的荧光光谱特征不同; 同一显微组分, 随煤化程度增高, 其荧光光谱特征也不同。

用紫外光作为激发光源, 可以获得从 400nm 到 700 (800) nm 的全部可见光的完整荧光光谱分布曲线。用蓝光 (420nm) 激发, 可获得 450~700 (800) nm 的荧光光谱分布曲线; 蓝光激发对烟煤中发橙至红色荧光显微组分的观察研究效果较好。

荧光光谱分布曲线的特征, 主要用荧光光谱曲线峰的波长值  $\lambda_{\max}$  以及红色荧光强度 ( $I_{650}$ ) 与绿色荧光强度 ( $I_{500}$ ) 之比值, 即红绿商  $Q$  来表示 (K. Ottenjann 等, 1975)。其确定方法见图 2。荧光光谱峰左右两侧相对强度为 98% 的两个波长值 ( $\lambda_1$  和  $\lambda_2$ ) 的算术平均值, 即为光谱峰的波长  $\lambda_{\max}$ 。红绿商  $Q$  是指波长分别为 650nm 和 500nm 处的相对荧光强度的比值, 即  $Q = \frac{I_{650}}{I_{500}}$ 。K. Ottenjann (1980) 在研究镜质组的荧光光谱时, 发现其  $\lambda_{\max}$  常大于 650nm, 因此建议对于镜质组采用光谱峰的荧光强度 ( $I_{\lambda_{\max}}$ ) 与绿色荧光强度 ( $I_{500}$ ) 之比值, 即峰绿商  $Q_{\max} = \frac{I_{\lambda_{\max}}}{I_{500}}$  表示更好。以上光谱参数已被纳入国际标准化方法草案。

除上述光谱参数外, Van Gijzel (1978、1981) 又提出了峰位波长变化、半峰宽、不同色区面积比等参

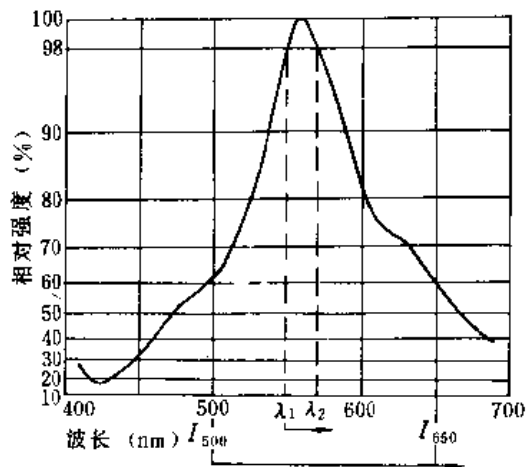


图 2 荧光光谱峰波长  $\lambda_{\max}$  和红绿商  $Q$  的测定

数, Crelling (1979)、Teerman 等 (1987)、Thompson 等 (1987)、Martinez 等 (1987)、中国肖贤明等 (1991) 也提出了不同波长区面积比等多种新的荧光参数。

在荧光光谱测定过程中, 必须注意测量条件的选择和进行荧光光谱背景校正和仪器灵敏度校正, 以获取真实的荧光光谱分布曲线。

荧光光谱参数在煤化过程中会发生变化。孢子体是煤和烃源岩中常见显微组分, 随煤化程度的增高, 孢子体的荧光光谱峰波长  $\lambda_{\max}$  几乎成直线由短波段 (绿光) 域移向长波段 (红光) 域; 而孢子体的光谱红绿商

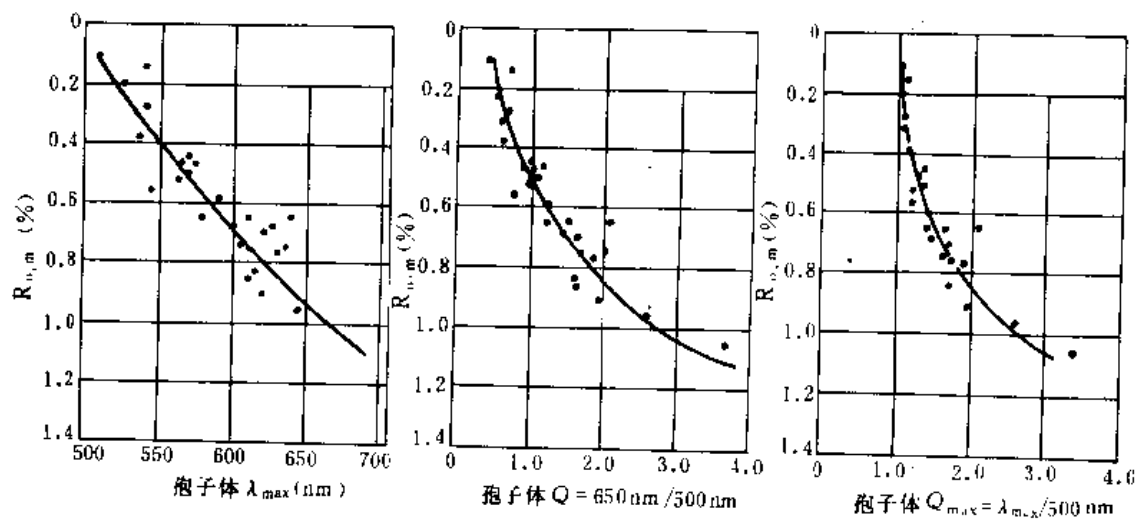


图 3 孢子体的  $\lambda_{\max}$ 、 $Q$  值与  $R_{o,m}$  之间的关系  
(据 Teichmüller 等, 1983)

Q向红光波段域迁移更迅速(图3)。

镜质组(腐植组)的荧光光谱峰波长 $\lambda_{\max}$ 也有向红光波段域迁移的趋势,而且比孢子体开始得更早,变化更迅速。

此外,在反射荧光下进行显微组分定量研究,可以比较精确地确定具荧光显微组分的数量,Spackman等(1976)对次烟煤和低煤化烟煤应用反射白光和反射荧光两种方法所作的对比研究表明,在反射荧光下能鉴别的壳质组类型较多,相对数量比反射白光普遍高3%~19%。

### 参考书目

M. Teichmüller and B. Durand, 1983, Fluorescence microscopical rank studies on liptinites and vitrinites in peat and coals, and comparison with results of the Rock-Eval pyrolysis, *Int. J. Coal Geol.*, 2: 197—230.

肖贤明,《有机岩石学及其在油气评价中的应用》,广东科技出版社,1992。

(潘治贵 任德貽)

meixiang

**煤相** (coal facies) 一定泥炭沼泽环境下形成的煤的成因类型和煤岩类型。它通过煤岩组分即煤的有机显微组分、矿物成分、化学特征和结构特征来体现。煤相反映泥炭沼泽的覆水深度、水介质酸度、氧化还原电位、成煤植物种类和堆积方式等聚集环境。不同煤相在垂向剖面上的交替,构成煤层的垂向层序,反映成煤植物群落和沼泽沉积条件随时间的演化。通过煤相分析,可恢复成煤的物质条件和沉积环境,掌握煤质分布规律并圈定优质煤的分布范围,进行煤层对比和预测煤质变化方向等。

**类型划分沿革** 20世纪50年代,苏联Л. П. 涅菲吉耶娃(Л. П. Невдыва)通过煤岩学的研究,根据煤的成因类型和不同煤岩类型结构及其所代表的环境,将埃基巴斯图兹(экибастуэ)中石炭世的煤,区分为,①植物丛生湖泊相,以腐泥煤、腐泥腐殖煤、含腐泥质的半亮和光亮腐殖煤为代表,镜下观察见含大量皮拉藻(*Pila*)和孢子,有很薄的炭质泥岩夹层;②覆水沼泽相,以富凝胶化组分的光亮和半亮煤为主,夹有含大量高岭石等粘土矿物的暗淡煤和半暗煤薄层,具条带状结构;③“干燥”沼泽相,以含大量丝炭透镜体或夹层的暗淡煤和半暗煤为主,指示泥炭沼泽覆水很浅或曾经暴露过;④河漫滩流水沼泽相,以线理状暗淡煤和半暗煤为代表,有矿物质夹层;⑤潟湖沼泽相,以暗淡煤和半暗煤为主,具细碎屑结构,含有皮拉藻和大量丝炭化物质,并有较多方解石和菱铁矿夹层,反映多

氧和缺氧环境的交替;⑥滨海强覆水沼泽相,以暗淡煤、半暗煤和半亮煤为主,植物组织因经历过强烈凝胶化作用而成细小碎片,由于有大量粘土矿物的混入而使煤的光泽变得暗淡,但丝炭化成分不多。

60年代,德国煤岩学家M. 泰希缪勒(M. Teichmüller)通过古植物学与煤岩学相结合的方法,根据煤成因类型、煤岩类型及植物结构保存情况,恢复了德国下莱茵地区中新世褐煤的成煤沼泽环境,区分出五种显微煤岩类型,相当于煤相(图1)。自覆水较深的湖泊开阔水域向沼泽陆地方向过渡,沼泽和煤相类型依次是:①开阔水体,以含大量碎屑腐殖体和壳质组的褐煤为代表;②芦苇沼泽,以含大量碎屑腐殖体的较光亮的褐煤为代表;③紫树一落羽杉沼泽,以含较多煤化树干的褐煤为代表,植物结构保存好;④杨梅科—西里拉科植物成煤沼泽,以含煤化树干少的暗褐煤为代表,植物结构保存较差;⑤红杉树沼泽,植物原生结构保存好,常见有树桩层。

此外,泰希缪勒还恢复了北半球石炭纪煤的各种显微煤岩类型所代表的沉积环境,认为①沼泽水下环境,形成烛煤、藻煤和微暗煤、微亮煤;②芦苇沼泽,形成富孢子体的微亮煤;③鳞木和种子蕨森林沼泽,形成微镜煤和含少量孢子体的微亮煤;④高于潜水位沼泽,形成微惰煤和含少量孢子体的微暗煤。

1986年,C. F. K. 狄塞尔(C. F. K. Diessel)根据煤显微组分的凝胶化指数GI(Gelification Index)和植物结构保存指数TPI(Tissue Preserve Index),将澳大利亚纽卡索(Newcastle)二叠纪的煤按煤相区分为①GI值高而TPI值低的煤,形成于强覆水的三角洲平原海草沼泽环境,煤层厚度一般小于1m,煤中含黄铁矿高;②GI值中等的煤,形成于上三角洲平原的沼泽环境;其中TPI值较高者形成于分流间泛滥盆地潮湿森林沼泽环境;TPI值较低者形成于低位沼泽环境,煤层厚度也较大;③GI值低、TPI值中等的煤。多属暗淡型煤,形成于山麓冲积平原干燥的森林沼泽环境(图2)。

P. A. Hacquebard和J. R. Donaldson也采用显微煤岩类型的方法研究煤相(1964, 1967),并用双三角图解法表示沼泽覆水深度与植物群的分带性。

**影响因素** 成煤物质、泥炭沼泽类型和水介质的化学条件等。

**成煤物质** 成煤植物的种类和群落。①以木本植物为主的成煤物质,主要是高等植物的木质纤维部分。它们在覆水好的环境下易形成凝胶化物质占优势的光亮煤和半亮煤;而在覆水条件差的富氧环境下,则易形





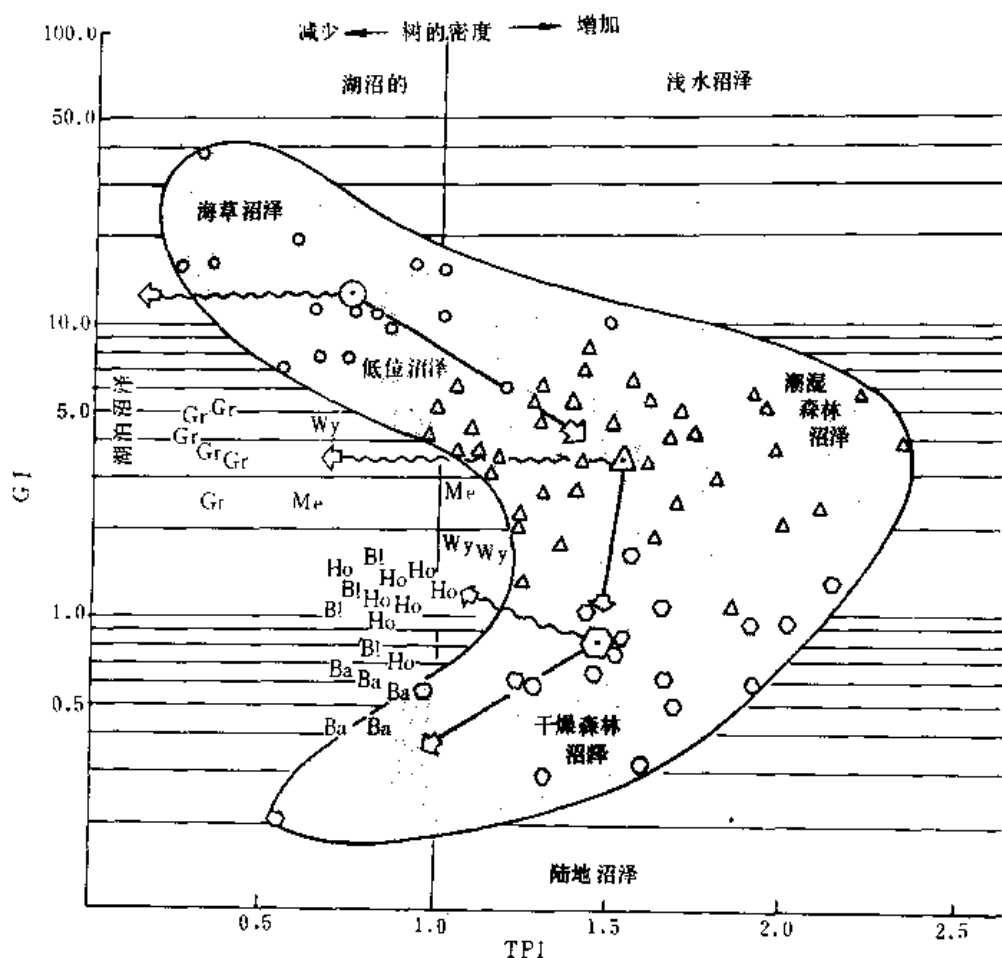


图2 根据煤显微组分的凝胶化指数  $GI$  和植物结构保存指数  $TPI$ ,  
对澳大利亚纽卡索二叠纪煤区分出的三种煤相  
(据 Diessel, 1986)

成富丝质组的半暗煤和暗淡煤。②以半水生植物芦苇为主的成煤物质,主要是纤维素、蛋白质。它们易在微生物作用下腐烂分解,形成富壳质组的煤,有利于生烃,煤在液化干馏时氢和焦油产率均高。③以半水生植物和水生漂浮植物为主的成煤物质,在深覆水沼泽的开阔水域,易形成以富氢镜质组为主的暗淡煤,有机质则易转变成烃,但煤中灰分、硫分相对也较高。④以苔藓植物为主的高位泥炭沼泽,介质酸度高并含具有防腐性的酚类,限制了微生物的活动,有利于植物结构的保存,易形成惰性组分较高而灰分较低的半暗煤和暗淡煤。

**泥炭沼泽类型** 按水源补给来源不同,泥炭沼泽类型有低位、中位和高位之分(图3)。①由地下水、地表径流和大气降水同时补给的低位沼泽,由于地下水溶解了较多的矿物质并带入沼泽,为植物的繁殖生长

和堆积创造了条件,或为覆水条件好、营养丰富的滋育沼泽,植物茂盛,种属繁多,植物遗体堆积后,经生物降解作用形成的腐植酸,易转化为腐植酸盐而沉淀,形成富镜质组的煤,但灰分有时相对较高。②由大气降水补给的高位沼泽,由于缺乏矿物质,植物矮化,种属单调,成为贫滋育的沼泽,由于植物组织分解合成的腐植酸大量聚积,使介质酸度增高,不利于微生物的生存活动,因而易形成植物结构保存好的低灰、低硫煤。

**沼泽水介质的化学条件** 主要包括沼泽水的酸度和氧化还原电位。

(1)沼泽水的酸度影响细菌的生存繁殖,当介质为中性至弱碱性( $pH$ 值为7.0~7.5)(特别是含氧和钙)时,细菌最活跃。细菌活动性越强,生物降解作用越充分,越易形成植物结构保存差、富凝胶化物质的煤。一般低位沼泽介质的 $pH$ 值为4.8~6.5;高位沼泽

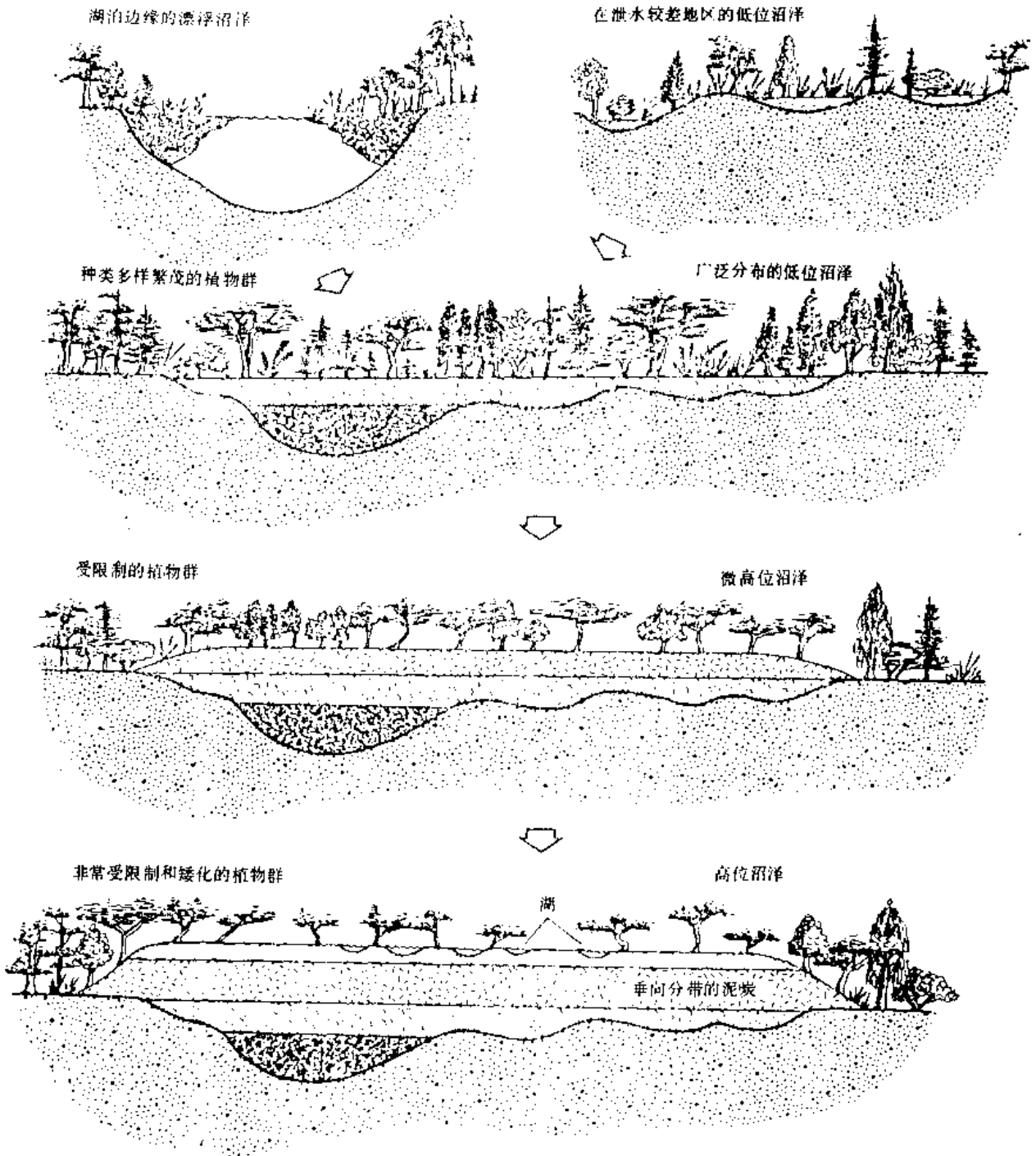


图3 不同沼泽类型的演化层序, 由低位沼泽向高位沼泽演化, 泥炭具有明显的分带性  
(据 Romanov, 1968; 转引自 McCabe, 1984)

水介质为 3.3~4.6; 现代滨海沿岸的红树林沼泽水介质一般为中性至弱碱性, pH 值为 7.0~8.1。

(2) 沼泽中水介质的氧化还原电位与沼泽的覆水深度和水的流通性有关。①滞水的低位沼泽。其还原性较强, 易形成含富氢镜质组的煤, 有利于产烃。②流通

的低位沼泽。其富氧, 生物降解作用进行得充分, 植物中的不稳定成分均被分解并被流水带走, 使稳定成分相对集中, 从而易形成富壳质组的腐植煤和残植煤。③高位沼泽。其覆水程度较差, 易形成植物结构保存较好, 富丝质组的贫氢煤。

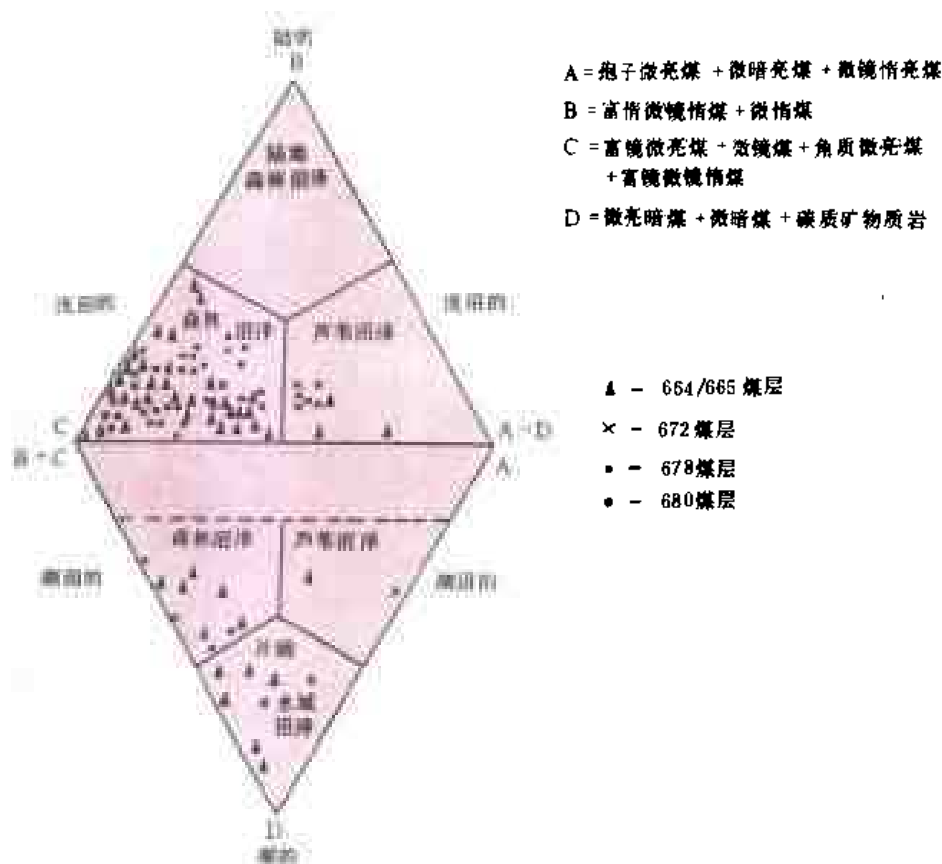


图 4 Maria Mastalerz 和 K. R. Wilks 根据 Hacquebard 和 Donaldson (1969) 提出的显微煤岩类型双三角图解法, 所作波兰 Intrasedimentary 盆地石炭纪 Namurian A 期几个煤层的煤相图解

介质的酸度和氧化还原电位还影响着煤中硫的含量。硫是煤中的有害成分, 在煤中无机硫以黄铁矿或白铁矿形式存在, 在同生、成岩和后生各阶段均可形成。同生期形成的黄铁矿, 主要与介质条件有关, 而与成煤植物种类的关系却不大。沼泽中黄铁矿的形成与硫酸盐还原菌的活动有关。海水中约含 0.1% 的硫酸盐, 在硫酸盐还原菌的作用下, 易被还原为硫化物, 形成黄铁矿或白铁矿, 并在还原过程中消耗泥炭中的有机质。由于硫酸盐还原菌有利的生存条件是水介质的 pH 值为 6.5~8.0, 因而中性至碱性的介质条件有利于煤中同生黄铁矿的形成。再者, 泥炭层表层黄铁矿少, 而泥炭层底部 (特别是当泥炭层被海水或半咸水沉积物覆盖时) 黄铁矿明显增多。在现代半咸水红树林泥炭中, 草莓状黄铁矿含量甚高, 这与硫酸盐还原菌或放线菌集聚于红树根皮层细胞的内壁有关。

**分析参数** 煤相分析的原生成因标志, 包括煤的物质组成、结构、地球化学和地球物理特征等。最常采用的是宏观煤岩类型、显微煤岩组分、显微煤岩类型、煤中矿物质成分和含量 (特别是硫、磷和微量元素含量等)。此外, 地球物理测井曲线也能很好地反映煤岩类

型和矿物质的含量。C. F. K. 狄塞尔采用煤显微组分的凝胶化指数  $GI$  和植物结构保存指数  $TPI$  来区分煤相;  $GI$  为凝胶化组分 (包括早期曾经历过凝胶化作用、后期又经历丝炭化作用的粗粒体) 与丝炭化和半丝炭化组分之和的比值, 表示成煤沼泽的覆水程度;  $TPI$  为保存有植物细胞结构的凝胶化组分和丝炭化组分之和与看不出植物细胞结构的凝胶化组分和丝炭化细小植物碎片之和的比值。

$$GI = \frac{\text{镜质体} + \text{粗粒体}}{\text{半丝质体} + \text{丝质体} + \text{滴屑体}}$$

$$TPI = \frac{\frac{\text{结构} + \text{无结构} + \text{半丝} + \text{丝质体}}{\text{镜质体} + \text{镜质体} + \text{质体}}}{\text{密屑体} + \text{粗粒体} + \text{镜屑体}}$$

用对数坐标表示的  $GI$  与  $TPI$  值相关分析图, 反映了泥炭沼泽不同的沉积环境。在狄塞尔所作的煤相图解上, 从森林沼泽向灌木沼泽、海草沼泽过渡,  $GI$  值逐渐增大,  $TPI$  值逐渐减小。

Hacquebard 等 (1964, 1967) 提出了根据显微煤岩类型用双三角图解方法表示的煤相。Maria Mastalerz 和 K. R. Wilks (1992) 在波兰进行了试验

(图 4)。

煤层中不同煤相类型的垂向层序、反映了成煤沼泽沉积环境的演化, 为了解优质煤分布规律指明了方向。

### 参考书目

E. Stach 等,《斯塔赫煤岩学教程》, 杨起等译, 煤炭工业出版社, 1990。

C. F. K. Diessel, Coal-Bearing Depositional Systems, 1992.  
(李宝芳)

### meixin caiquqi

#### 煤心采取率 (coal recovery percent age)

从钻孔中某一孔段采出的煤心长度, 与该孔段实际钻进煤层进尺的百分比。它是煤田钻探最重要的工程质量指标之一。煤心采取率有回次采取率和分层采取率之分, 在一个回次内的煤心采取率称回次煤心采取率; 在一个煤层内的煤心采取率称分层煤心采取率。除按长度之比计算采取率外, 对重要煤层还需求出采取煤心的重量与该煤层应有煤心重量的百分比, 即重量煤心采取率。

其计算公式:

回次煤心采取率 (%)

$$= \frac{\text{本回次采出的煤心长度 (m)}}{\text{本回次钻进煤层进尺 (m)}} \times 100\%$$

分层煤心采取率 (%)

$$= \frac{\text{本层煤采出的煤心总长度 (m)}}{\text{本层煤实际总进尺 (m)}} \times 100\%$$

重量煤心采取率 (%)

$$= \frac{\text{本层煤煤心实际送样质量 (kg)}}{\text{本层煤应有的煤心质量 (kg)}} \times 100\%$$

煤心是煤田地质勘探最重要的第一性实物资料, 是确定煤质和计算煤炭储量的基本依据。在中国煤田地质勘探部门现执行的《煤田勘探钻孔工程质量标准》中, 除规定了全孔钻探工程质量标准外, 还专门规定了钻探煤层质量标准。《标准》中对煤层厚度、煤心采取率、煤层深度及原始记录等都有具体要求 (见钻孔质量)。由于大多数煤都性脆易碎, 硬度低, 易遭受冲洗液冲刷和烧灼变质, 为保证取心质量, 必须采取一系列技术措施和专门的取煤心工具。通常的作法是, 针对煤层特性, 选择适当的煤心采取器, 并按钻进规程和操作要领, 由技术熟练的人员操作。为防止将煤层钻丢 (未发现该煤层)、钻薄 (探得厚度小于实际厚度), 地质人员要及时下达《见煤预告书》并在钻场守煤, 操作人员则应切实注意见煤征兆 (指重表显示值和钻进速度突

然增大), 见软起钻, 并换用煤心采取器, 必要时还要限制回次进尺。一旦发现煤心采取率过低或将煤层钻丢、钻薄, 必须及时采取补救措施 (包括补打斜孔等), 以防钻孔降级、报废, 造成损失。

(赵青祥)

### meixin caiquqi

**煤心采取器** (coal coring tool) 又称取煤器, 煤田地质勘探钻进过程中用以采取煤心的专用钻孔取心器。它也可在钻进松软及较破碎的岩层时, 为提高岩心采取率而用来采取岩心。

煤心的数量和质量直接影响煤炭储量计量、煤炭资源评价乃至矿井设计, 在钻孔采取煤心时既要保证足够的采取率, 又要使所采取的煤心具有代表性, 煤心既不受污染, 又保持原生结构。煤的可钻性等级一般为 3~5 级, 钻进并不困难, 但由于煤的脆性大, 通常裂隙较多, 尤其是在受构造破坏严重时可能成为粉状, 取心的难度较大。为保证钻孔煤心采取的数量和质量, 除应选择正确的钻进方法和钻进规程、注意认真操作之外, 还必须使煤心采取器在性能上满足①避免冲洗液对煤心的冲蚀和污染; ②减少钻进过程中对煤心的磨损; ③煤心采取要牢靠, 防止在提钻过程中脱落; ④尽可能保持煤心的原生结构; ⑤在钻进过程中防止煤心燃烧及变质等要求。

单管取心器不具备上述性能, 因而不能用来采取煤心。在 20 世纪 50 年代以前, 中国曾广泛使用双管双动煤心采取器, 这种取心器在防冲减磨方面比单管取心器优越, 但仍不理想。目前广泛使用双管单动取煤器。

**双管双动煤心采取器** 由异径接头, 内管, 外管, 内、外管钻头和球阀等部分组成。钻进时内、外管一起转动 (即所谓“双动”)。冲洗液经异径接头和内、外管间的环状间隙流至钻头冲洗孔底, 对煤心不会造成直接冲刷。内管中的冲洗液随煤心的进入顶开球阀排到内、外管之间的环状间隙, 与循环的冲洗液合流, 不致因挤压煤心而加剧煤心磨损。卡取煤心时, 或停泵“干钻”, 或不停泵而加大钻压快速钻进, 造成煤心堵塞。提升钻具时, 球阀自动关闭, 使煤心不受外部压力波动的影响, 减小脱落的危险性。双管双动煤心采取器结构简单、加工容易, 但由于钻进时内外管同时转动, 不可避免对煤心有破坏作用。另外, 用堵塞法卡取煤心不牢靠, 在提钻过程中往往因钻具震动造成煤心脱落。“干钻”还会使靠近钻头部位的煤心过热燃烧变质, 操作不当甚至会造成烧钻事故, “干钻”过程不计算进尺, 也会影响计算煤层厚度的准确性, 因而, 双管双动煤心采取

器已渐趋淘汰。

**双管单动煤心采取器** 具体结构多种多样,但有两点是共同的,即①内管与异径接头之间通过轴承活动连接,在钻进时外管转动而内管不转动(即所谓“单动”),因而减少了对煤心的振动破坏和磨损;②在内管的下端设置卡心或护心机构,可有效地防止在提钻过程中煤心脱落。除此之外,针对不同的使用条件在结构上还有一些区别。

(1)内钻头超前结构。内钻头前端从外钻头的内孔中伸出,钻进时,在轴向压力的作用下,内钻头先切入煤层,避免煤心受冲洗液的冲刷,适用于钻进很松软甚至粉状的、夹矸少的煤层。该结构型式的煤心采取器使用较少。

(2)外钻头超前结构。外钻头内孔为台阶形,内钻头前端与外钻头的内台阶之间仅留很小间隙(约1~2mm)。外钻头的外表面也呈前小后大的台阶形,在上台阶的端面上有斜水孔与内外管间的环状间隙相通。钻进时,冲洗液主要是通过斜水孔循环,对煤心根部的冲蚀作用很微弱。另外,内钻头的内径大于外钻头的内径,外钻头钻出的煤心可以顺利地穿过内钻头进入内管(此时内钻头已不起碎岩作用),适于钻进煤质变化大、夹矸多的煤层及煤层顶、底板,适用范围较广。

(3)“半合管”结构。内管用两块半圆管组合而成,取下一半即可观察和取出其中的煤心。其优点是:丈量煤心长度方便,可清晰地观察煤心原生结构和层序,尤其是采取粉状煤样时这一优点更为突出。

(4)高转速单动装置。通常在单动装置(内管与异径接头之间的活动连接部件)上装有两盘止推轴承,在采用硬质合金钻进时,其单动性能尚可满足要求,但当采用高转速金刚石钻进时,则因外管转速很高而使内管的单动性随之变差。为克服这一缺点,在单动装置上增加轴承,并相应提高零件的加工精度,使内管可相对于外管灵活转动,保证在高转速钻进条件下内管仍有良好的单动性。

(5)喷射反循环装置。在一般煤心采取器内管的上端增设射流元件,形成孔底局部反循环(见反循环钻进),使煤心随冲洗液同时向上进入内管,这样有助于提高煤心采取率。但是,反循环液流对煤心有严重的分选作用,使相对密度小的组分和碎块浮到上面,造成层次混乱,因此,只有在钻进硬、脆、碎煤层,用一般煤心采取器取心有困难时才使用。

(郭忠礼)

法,研究煤的组成、结构、性质、成因和工艺用途的学科,煤田地质学的一个分支。

### 应用领域

(1)在煤田地质勘探中的应用主要包括①据以研究煤的成因和成煤环境;②用以进行煤层对比;③用以确定煤级、煤的变质规律及类型;④用以分析地质构造形变,恢复构造应力场,研究古构造及其发展史;⑤研究影响煤质的成因因素,进行煤质综合评价。

(2)在煤炭加工利用中的应用主要包括①据以建立科学的煤炭分类;②据以预测煤的可选性,选择合理的破碎和洗选工艺流程;③据以全面评定煤质,指导炼焦配煤和预测焦炭质量;④据以进行加氢液化原料煤的选择;⑤用以研究煤的燃烧性、飞灰、残炭;⑥用以研究煤中有害和有用伴生元素。

(3)在油气地质勘探中的应用主要包括①用以研究烃源岩的母质成分、类型及其生烃性能;②据以建立烃源岩热演化成烃模式;③据以进行煤成烃源岩生烃潜力的评价;④据以研究煤盆地的古地热及热历史。

**简史** 1924年,R.波托涅(R. Potonie)在《普通煤岩学概论》一书中首次使用煤岩学一词。

煤岩学的建立与煤的显微镜下研究有关。早期主要是应用薄片研究成煤植物及其成因,约在1870年,英国T. H. 赫胥黎(T. H. Huxley)第一次从烟煤中辨认出孢子;19世纪末,经过显微镜下研究,确定藻煤是由藻类形成的。1913年,美国R. 蒂森(R. Thiessen)和D. 怀特(D. White)所著《煤的起源》一书问世;1920年,蒂森所著《古生代烟煤的结构》一书出版,书中附有大量薄片的显微照片;1919年,英国M. C. 斯托普丝(M. C. Stopes)从烟煤中首次区分出镜煤、亮煤、暗煤和丝炭四种煤岩成分。这些,对煤岩学的建立奠定了基础。

20世纪二三十年代,煤炭工业的发展促使煤岩研究更注重煤的加工利用和评价,改进了研究方法和技术,取得了丰硕的成果。1925年,德国E. 斯塔赫(E. Stach)首先在油浸物镜下观察块煤光片;1932年,德国E. 霍夫曼(E. Hoffmann)等应用贝瑞克光度计发现镜质组反射率与煤级间的依存关系;1935年,M. C. 斯托普丝提出了烟煤中“显微组分”的概念;同年,E. 斯塔赫撰写的《煤岩学教程》问世,对发展煤的显微镜下研究起了重要促进作用。

1953年国际煤岩学委员会(International Committee for Coal Petrology,简称ICCP)的成立,是煤岩学发展的一个里程碑。它出版了《国际煤岩学手册》,制订了一系列分析方法,使术语与工作方法趋于标准化,每年召开一次工作会议,组织系统煤岩学及应用煤

岩学研究成果的国际交流。1957年,苏联H. H. 阿莫索夫(H. H. Аммосов)提出了煤岩配煤理论,为煤岩学在焦化工业中应用奠定了基础。20世纪50年代以来,德国M. 泰希缪勒(M. Teichmüller)发表了关于煤的成因、煤相、煤化作用、荧光分析等一系列论著,为煤岩学成为具有较完整体系的现代学科作出了卓越的贡献。20世纪80年代以来,由于油气资源勘探的需要,显微光度技术、荧光显微技术和有机地球化学迅速发展,从煤岩学中衍生出研究范围更为广泛的有机岩石学(organic petrology),1984年成立了国际有机岩石学学会(International Society of Organic Petrology, 简称ISOP)。

中国谢家荣在20世纪30年代初,对中国江西乐平煤进行了系统的煤岩学研究,使其闻名于世。他在反射光下用腐蚀法对无烟煤光片进行了研究,是中国煤岩学研究的先行者。

从20世纪50年代起,中国地质部、煤炭工业部、中国科学院、冶金工业部等相继建立煤岩实验室,一些高等院校设置了煤岩学课程,在全国范围内开展了大量区域性、专题性、应用性的煤岩学研究。1980年,中国煤炭学会、中国地质学会煤田地质专业委员会设立煤岩学组,开展了全国性煤岩学学术交流;中国煤炭标准化技术委员会设立煤岩分委员会,制定了一系列有关煤岩学的国家标准和行业标准。这些,促进了中国煤岩学理论水平,应用范围和测试技术不断提高。近年来,随着煤田及油气地质勘探和炼焦工业的发展,从事煤岩学、有机岩石学研究的队伍有所扩大,应用效果日趋显著,有关专家编著了《应用煤岩学》,《实用煤岩学》及《中国煤岩学》等教材和专著。

随着煤炭工业和煤炭深加工的发展,煤岩学应用领域的扩大,国内外更注重煤的组成、结构和性质的应用基础研究,更注重煤岩学与煤化学、有机地球化学等学科的综合研究,更注意电镜技术、微区分析、激光技术、质谱学等新技术的应用。煤岩学仍然在积极发展中。

#### 参考书目

E. 斯塔赫等,《斯塔赫煤岩学教程》,杨起等译,煤炭工业出版社,1990。

(任德昭)

meiyan zucheng

**煤岩组成** (macroscopic petrographic constituent of coal) 煤作为一种岩石,其组成比较复杂,无论用肉眼或显微镜观察,均可分出若干组分和类型。腐植煤肉眼可划分镜煤、亮煤、暗煤、丝炭四种

煤岩成分和光亮煤、半亮煤、半暗煤、暗淡煤四种宏观煤岩类型。研究煤的岩石组成,对评价煤质,确定煤的合理用途,探讨煤层形成过程都有重大意义。

**煤岩成分** (lithotype of coal) 又称煤岩组分,腐植煤中肉眼可识别的基本成分。英国女煤岩学家M. C. 斯托普丝(M. C. Stopes, 1919)从条带状烟煤中首先区分出镜煤、亮煤、暗煤、丝炭四种煤岩成分,1955年经国际煤岩学术语委员会正式确认。

**镜煤** (vitrain) 煤中颜色最黑、光泽最强的组分。其质地均一,性脆,常具内生裂隙,断口面上常呈眼球状。在煤层中呈厚数毫米到2cm的透镜状或条带状薄层,有时以线理状存在于亮煤和暗煤组分中。显微镜下轮廓清楚、质地纯净,主要由植物的木质—纤维组织经凝胶化作用转变的镜质组构成。它灰分极低,挥发分高,粘结性强。

**亮煤** (clarain) 煤中光泽较强的组分。较脆易碎,内生裂隙较发育,隐约可见纹理,其性质介于镜煤和暗煤组分之间。在煤层中常呈较厚的分层。显微镜下观察,以镜质组为主,含有不同数量的壳质组和惰质组。

**暗煤** (durain) 煤中光泽暗淡的组分。其质地致密坚硬,韧性较大,一般层理不清晰,断面粗糙,可含大量矿物杂质。在煤层中常呈较厚分层或单独成层。显微镜下观察,镜质组较少,壳质组和惰质组含量较多,可含大量矿物杂质。其化学—工艺性质与所含显微组分的成分和数量有关。

**丝炭** (fusain) 又称丝煤。因外观象木炭而得名。色黑性脆,具丝绸光泽,纤维结构,易碎,染指。丝炭疏松多孔,空腔常被矿物质所充填,形成坚硬致密的矿化丝炭。它在煤层中呈厚数毫米的扁平体断续出现。显微镜下观察,它由惰质组构成。丝炭含碳高,无粘结性,因孔隙度大、吸氧性强,易因发生氧化而自燃。

**宏观煤岩类型** (macrolithotype of coal) 按煤新鲜断面上相对光泽强度划分的肉眼研究单元。镜煤、丝炭一般呈小于2cm厚的透镜体,亮煤与暗煤常互相过渡。因此,采用宏观煤岩类型作为研究煤层的单位。它是煤岩成分共生组合的反映。由于光泽随煤化程度的增高而增强,因而同种煤岩类型在不同变质阶段的光泽强度亦不同。

**光亮煤** (bright coal) 光泽最强,结构近于均一,条带结构不明显,内生裂隙发育,脆度大,灰分少,粘结性强。主要由镜煤和亮煤组成。显微镜下观察,镜质组占80%以上。

**半亮煤** (semibright coal) 光泽次强,以亮煤为主,有时则由镜煤、亮煤和暗煤组成,不同的煤岩成分交替,具明显的条带状结构。内生裂隙较发育,粘结性

较好。显微镜下观察,其镜质组含量一般在60%~80%。

**半暗煤 (semidull coal)** 光泽较弱,主要由暗煤和亮煤组成,具条带结构,内生裂隙不发育,硬度、韧性与相对密度较大,灰分较高。显微镜下观察,其镜质组含量在40%~60%。

**暗淡煤 (dull coal)** 光泽暗淡,质地坚硬,韧性、相对密度大,通常呈块状,致密,含大量矿物杂质,主要由暗煤组成。显微镜下观察,其镜质组含量小于40%。

不同煤岩类型形成于不同的聚积环境(见煤层沉积环境、煤相),煤层聚积环境的变迁往往造成上述宏观煤岩类型在煤层中多次交替出现。通常以5cm为最小分层厚度,进行逐层观察、描述和取样,以掌握煤质和煤层形成环境的变化。

### 参考书目

杨起、韩德馨等,《中国煤田地质学》上册,煤炭工业出版社,1979。

武汉地质学院煤田教研室,《煤田地质学》上册,地质出版社,1979。

E. 斯塔赫,《斯塔赫煤岩学教程》,杨起等译,煤炭工业出版社,1990。

(叶敦和)

## meizhi pingjia

**煤质评价 (coal quality evaluation)** 从煤田普查到开发利用过程中确定煤炭质量进而评定煤炭利用方向和经济价值,并提供使用煤炭防止环境污染措施的一整套技术工作。它是煤炭资源评价的一部分。

中国煤炭资源虽较丰富,但无论在量和质上分布都不均衡。滥用优质煤的现象很普遍,高硫煤大量开发并用作动力和生活燃料造成环境污染,已引起各部门的重视。要强调煤质适销对路的勘探开发。勘探、开发、运销部门均已建立煤质分析实验室,以加强煤质评价工作。

**阶段** 煤质评价分为初步评价、详细评价和最终评价三个阶段,与普查、勘探和开采三个阶段相适应。

(1) 初步评价是对煤的可能利用方向作出评价。

(2) 详细评价要为煤炭今后的开发利用提供全面、详尽的煤质资料,作为煤质利用可行性研究报告的依据。

(3) 最终评价是在煤炭开发利用期间,按预定的利用方向进行煤炭质量检验,目的是保证按预定的质量要求提供煤炭资源。

### 任务

(1) 阐明矿区或井田内不同煤层、不同地段、不同埋深煤炭的质量,以便分煤层、分水平、分地段计算不同质量煤炭的资源量并规划其产量。

(2) 阐明煤质分布特征,讨论影响煤质差别的主要因素,研究各项煤质参数之间的相关程度,以便对计划勘探和开采区进行煤质预测。

(3) 研究煤的工艺性质,确定煤的利用方向,为矿井设计和开采提供依据;研究煤炭综合利用的价值;防止煤炭利用时对环境的影响;提供煤尘、瓦斯、自然发火、风氧化带界线等与煤质有关的资料。

**内容** 煤质评价内容分地质的、工艺技术的和经济等三个方面。

**地质评价** 主要根据煤成分性质的不同,讨论煤的原始质料、沼泽水介质性质、泥炭聚积和后期转变(煤化作用、风氧化作用)等因素,来阐明煤质在空间上的变化规律。

**工艺技术评价** 测定煤的技术加工性质,确定煤的合理利用方向,并研究通过对煤的预热、配煤、洗选、成型等人工加工方法来改变煤质,以达到最佳利用程度。

**经济评价** 从技术经济及资源和环境保护角度,考虑煤炭的开发、运输和利用,诸如建立坑口电站避免煤炭长距离运输,就地利用高灰分煤等。

**指标** 煤质评价指标包括化学的、煤岩的、物理的和工艺性的煤质测定数据。各种用途的煤有不同的煤质评价指标。

**动力用煤煤质评价指标** 灰分、发热量、水分、热稳定性、灰成分、灰熔融性、挥发分及硫、汞、砷、氯等有害、有毒元素等。常用的煤种是褐煤、低变质烟煤和无烟煤。

**炼焦用煤煤质评价指标** 灰分、挥发分、粘结性、结焦性、水分及硫、磷等有害元素。常用的煤种是气煤、气肥煤、1/3焦煤、肥煤、焦煤和瘦煤。

**气化用煤煤质评价指标** 挥发分、水分、灰分、灰熔融性、粘结性、热稳定性、气化反应活性等。常用的煤种是不粘煤、弱粘煤和无烟煤。

**液化用煤煤质评价指标** 挥发分、焦油产率、粘结性、热稳定性、灰分以及碳、氢含量。最适用的煤种是腐泥煤、残植煤、焦油产率高的低变质烟煤。

评价指标的具体标准由各工业部门根据当地当时情况制定。

### 参考书目

杨焕祥、廖玉枝等,《煤化学及煤质评价》,中国地质大学出版社,1990。

中华人民共和国煤炭工业部,《煤炭资源勘探煤样采取规



程》，煤炭工业出版社，1979。

(赵隆业)

meizhong bansheng yuansu

## 煤中伴生元素 (associated elements in coal)

煤中与有机质或无机矿物相结合的元素。已查明煤中伴生元素有 80 多种。

煤中伴生元素的研究,大致经历了三个阶段。①20 世纪 60 年代以前,侧重于其分布规律及成因理论的研究。②60 年代,随着原子能工业、电子工业、航天航空工业及其它高新技术的发展,对稀有元素的需求量剧增,促使研究重点转移到对其地质调查和回收利用。③70 年代以来,由于环境污染日益引起社会关注,煤中有害元素与环境的关系已成为重要的研究课题。中国煤中伴生元素的调查研究始于 1956 年,目前已查明煤和石煤中的伴生元素有 60 余种,其中以对硫、锗、镓、铀、钒等的研究较为详细。

**来源** ①成煤植物在生长过程中,从土壤、地表水、地下水中摄取。②成煤植物遗体在泥炭沼泽中堆积、腐烂、分解过程中,从沼泽水中吸附或渗入(包括矿物质)。③泥炭或煤炭形成后,从循环地下水或岩浆热液及挥发物质中摄取。

**种类** 煤中伴生元素包括稀有金属元素、分散元素、放射性元素和有色金属、贵金属、黑色金属以及非金属元素。煤中伴生元素按其性质和用途,可分为有益元素和有害元素。

**煤中有益元素** 煤中富集品位达到或超过工业品位,可作为工业矿床加以开发与综合利用的元素,包括锗 Ge、镓 Ga、铀 U、钒 V 等 20 来种。

**锗** 1930 年,挪威地球化学家首先在煤灰分析中发现煤中含锗。世界煤中锗含量一般为 3~15ppm。中国已在 10 余省(区)发现了 123 个富锗煤层,其锗含量平均大于 20ppm。中国云南省三个第三纪褐煤煤田煤层中的锗含量平均达 230~280ppm,灰分中达 1000ppm。美国肯塔基州哈兰郡哈兰煤层灰分中的锗含量平均为 1500ppm。日本褐煤中的锗含量一般为 10~125ppm,灰分中最高为 3000ppm。乌克兰顿涅茨煤田 19 个煤灰样品中锗含量为 1000~10000ppm。

锗主要富集在褐煤和低变质烟煤中。一般,在靠近古陆或沉积盆地边缘形成的煤层中,以及在煤层近顶底板部位,锗有局部富集的趋势。多数学者认为:煤中锗的聚集,主要是泥炭沼泽中凝胶化物质从水溶液中吸收了锗,以锗腐植酸盐形式,或者与酚基结合形成有机络合物,通常富集于镜煤和亮煤中,随着煤变质程度的增高,煤中有机分子链上的锗转化为气体逸出,故高

变质烟煤和无烟煤中含锗较少。一般煤中的锗含量达 20ppm (20g/t),即可从烟尘或焦化厂的氨水中提取回收,且工艺简单、成本低廉。英国是最早从煤烟尘中取提锗的国家。

**镓** 煤中镓主要富集在煤层的粘土夹矸或煤层顶、底板岩石中。中国富镓煤层多分布于西南区二叠纪和中生代含煤岩系中,平均含量 20~40ppm,最高达 345ppm。美国煤灰中平均镓含量为 47~110ppm,肯塔基州哈兰煤层中镓与锗同时富集,煤灰中平均镓含量 540ppm。英国纽加塞尔煤灰中镓含量为 500ppm。德国鲁尔煤田煤灰中最高镓含量达 1000ppm。通过煤的重液分离试验发现,煤中镓分别富集在轻组分和重组分中,轻组分中的镓与煤中有机质相关;重组分中的镓则与矿物质(主要是粘土矿物)相关,这可能是镓以类质同像形式取代了粘土矿物中的铝和铁。煤中镓品位达 30ppm (30g/t) 即可进行综合利用。镓是半导体原料,亦用于原子能工业。

**铀** 含煤岩系中的铀是铀矿床的重要工业类型之一。铀主要产于中生代和新生代内陆型含煤岩系的褐煤、低变质高灰分烟煤中,有时在含煤岩系的砂岩、富有机质黑色页岩中亦有发现。世界煤中铀含量一般为 0.5~10ppm。德国劣质煤中铀含量为 20~2000ppm,达工业品位(300ppm)的储量约 50t。美国怀俄明州大迪魏德盆地中部第三纪含煤岩系中有 7 层煤中的铀含量达 300ppm,储量 2400t。法国、俄罗斯均找到了这种类型的矿床。中国从褐煤到无烟煤以及早古生代石煤中,均有达到工业品位的富铀煤层,有的地区煤中铀含量达 2000ppm,并曾进行过回收利用。铀一般以铀黑和铀的有机化合物呈细分散状存在于煤中。腐植酸有利于铀的富集,它通过还原作用将来自煤系中富铀酸性喷出岩和聚煤盆地围岩的可溶性铀离子吸附并转变为不溶状态的铀—酰腐植酸而固定在有机组分中。含铀矿体呈透镜状或似层状、层状。此外,煤层氧化带中常见菱铀矿、钾钒铀矿、钙钒铀矿等,它们由风化淋滤作用生成。

**钒** 煤中钒主要以含铝硅酸盐类矿物形式富集于石煤中。石煤中  $V_2O_5$  的平均含量在 3000~10000ppm 之间,一般高于钒的综合利用品位(1000ppm),相当部分达到和超过钒矿床工业品位(5000ppm)。美国玛林郡 6 号煤层灰分中的平均钒含量为 21000ppm。钒在煤中与有机质有成因联系,有人认为石煤中的钒富集,与早古生代浅海中藻类和浮游生物吸取水中钒有关。石煤中,除富钒外,还含铜、钼、镍、铋等多种元素,钒和铀常共生(钒钾铀矿)。钒具有延展性好、耐高温等特点,钢中添加万分之几钒,可大幅度改善其性能。

**煤中有害元素** 煤中对人和生态有害的伴生元素,包括硫、磷、砷、氟、氯、铅、镉、汞、铍、铊、铬等10余种。它们中的一部分溶于水,在煤炭开采中会随矿井水排放地面,其余大部分则会在煤炭燃烧或加工利用时,富集于煤渣或凝聚于飞灰表面,污染环境,损害人类健康,腐蚀设备,破坏生态环境。此外,它们一旦进入工农业产品,则会影响产品质量。有益和有害是相对的,硒离子 $\text{Se}^{6+}$ 、铊离子 $\text{Tl}^+$ 具有高毒;镉离子 $\text{Cd}^{2+}$ 、汞离子 $\text{Hg}^{2+}$ 具有慢毒;砷离子 $\text{As}^{3+}$ 、铍离子 $\text{Be}^{2+}$ 具致癌性,当它们超过一定剂量后会导致对空气、水体、土壤以及整个生态环的污染和破坏,造成极大的危害。然而,这些元素又是重要的工业原料,具有很高的经济价值。因此,脱除煤中伴生的有害元素,并尽可能将其回收与综合利用,化害为利,变废为宝,既有经济价值,又有社会、环境效益。

**硫** 煤中普遍存在有害元素,在燃烧过程生成二氧化硫,既腐蚀金属设备,又污染大气,造成酸雨。在炼焦过程中,煤中硫大部转入焦炭,影响钢铁质量。因此,煤炭在利用前必须将硫加以清除。

煤中硫按赋存状态可分为有机硫和无机硫,偶含微量呈游离状态赋存的元素硫。

(1) 有机硫。煤中与有机质结合的硫。它来自①成煤植物和微生物的蛋白质,各种植物含硫量不同,一般小于0.5%;②植物遗体在泥炭沼泽腐烂分解过程吸附水中的硫。有机硫组成复杂,与有机质结合紧密,很难清除。一般低硫煤中均以有机硫为主,故有时选后精煤的含硫量反而增高。

(2) 无机硫。煤中矿物质的硫化物硫和硫酸盐硫。①硫化物硫,以黄铁矿形态存在,偶见白铁矿等硫化矿物。黄铁矿 $\text{FeS}_2$ 又称硫铁矿,含硫量达53.45%,是提取硫和制造硫酸的主要矿物原料。黄铁矿呈黄铜色、金属光泽,粉末呈黑色,硬度6~6.5,相对密度5.0,呈立方体等晶形或块状集合体,在煤层中常呈结核状出现,可通过选煤加以清除,清除的难易程度与矿物颗粒的大小和分布状态有关。煤中黄铁矿主要由泥炭沼泽水中铁离子和硫离子化合而成,少量位于煤裂隙面上的黄铁矿薄膜,则是煤层形成后,含铁离子和硫离子的地下水在煤裂隙中流动时化合、沉淀形成。②硫酸盐硫。主要以石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 形态赋存,为风化产物,多位于煤层风化带,在煤中含量一般小于0.5%。

煤按含硫量可分为特低硫煤(含硫量 $\leq 0.5\%$ )、低硫煤(含硫量0.51%~1.00%)、低中硫煤(含硫量1.01%~1.50%)、中硫煤(含硫量1.51%~2.00%)、中高硫煤(含硫量2.01%~3.00%)、高硫煤(含硫量 $> 3.00\%$ )。

煤中硫含量的高低,主要取决于泥炭沼泽环境。滨海泥炭沼泽经常遭受海水入侵,富含海生生物死亡分解产生的硫,一部分为沼泽中腐烂植物的有机质或泥炭所吸附,形成有机硫;另一部分与沼泽水中铁离子结合而形成黄铁矿。所以,当近海型煤系中煤层顶板为石灰岩等海相岩层时,煤中硫分都偏高。中国北方石炭纪和南方二叠纪的煤层,一般为中、中高硫煤。广西二叠纪一些煤层的硫含量高达7%~8%以上。中国新生代、中生代内陆型煤系及华北二叠纪山西组煤层含硫量一般在1.5%以下。

**磷** 煤中磷主要是无机磷(磷灰石)及微量有机磷。炼焦时,煤中磷进入焦炭。炼铁时,焦炭中的磷又进入生铁,使钢铁发生冷脆。煤燃烧时,磷又污染大气。中国各地煤中磷含量一般为0.001%~0.1%。一般,炼焦用煤要求磷含量在0.02%以下。

**砷** 世界各国煤中砷含量一般为0.5~80ppm,燃煤时砷形成剧毒的 $\text{As}_2\text{O}_3$ ,进入大气,中国贵州西南某地区居民曾因燃用高砷煤而发生大面积砷中毒。因此,食品工业要求燃煤砷含量不超过8ppm。砷主要以砷黄铁矿 $\text{FeS}_2 \cdot \text{FeAs}_2$ 形式赋存于煤中。中国江西某矿区从煤中拣出的四块黄铁矿结核,其砷含量高达1380~4100ppm,为该矿区煤中砷含量的37倍,原煤经1.4比重液洗选,砷含量可由14.29ppm降到2.22ppm。据中国主要煤矿区1040个煤层煤样化验结果,砷平均含量为5.5ppm,砷含量最高的是湖南某中生代煤矿的煤层,达476ppm;云南第三纪若干褐煤层中,砷含量平均达84~135ppm。英、美、德等国均已发现高砷煤。高砷煤必须经过洗选才能利用。

**氟** 煤中氟部分能溶于水,煤炭开采时随矿井水排出,污染水源和农田,人、畜饮用含氟水将使骨质损伤;部分氟在煤炭燃烧时呈氟化物排入大气,严重腐蚀金属设备,氟化氢对生物的危害比二氧化硫大20~400倍。世界各国煤中氟含量一般为20~500ppm,美国平均为74ppm,澳大利亚平均为110ppm,英国15个煤田平均为800ppm。中国各主要煤矿区1037个煤层煤样含氟量的平均值为238ppm,广东、广西某些矿区的氟含量甚至在1000ppm以上。氟在煤中以萤石 $\text{CaF}_2$ 、氟磷灰石形式赋存。

**氯** 世界煤中氯含量一般为50~2000ppm,有的可高达10000ppm,美国煤中氯含量的平均值为580ppm。当煤中氯含量超过3000ppm,在煤炭燃烧或炼焦时,将对金属设备产生强烈的腐蚀。氯在煤中多以有机化合物形式赋存,有时也以氯化钙、氯化钠形式出现。

铍、铅、镉、铬 这些元素都是环境保护要求控制

的有毒元素。世界煤中铅含量一般在2~80ppm; 铬含量为0.5~60ppm, 平均为20ppm; 镉含量为0.1~3.0ppm。中国曾对某些地方的燃煤烟尘进行监测, 发现其铍、镉、铅含量超过国家环保允许标准。湖南石煤中的镉含量一般为40ppm。镉以硫化物矿物的缔合物形态存在于煤中, 对人体有潜在危害, 可导致骨痛病、高血压和癌症。

煤田地质勘探时, 应分析煤中有害元素, 当含量超过国家标准时, 要研究其成因、赋存状态及可选性。

**煤中稀土元素** 波兰西里西亚某煤矿的稀土总量大于0.4% (氧化物); 美国某些煤层中, 镧、铈、钇、铈元素的总含量大于700ppm; 独联体许多煤田的煤层中也富含稀土元素, 并曾进行过系统普查工作。

**煤中贵金属元素** 美国怀俄明州某地煤中含金3ppm、含银10ppm, 焦炭中含金3.69ppm、含银12.88ppm。德国某地褐煤中含金1~10ppm, 含银最高达60ppm。煤中金的富集, 主要通过三种途径, ①以砂金形式进入泥炭沼泽; ②含金溶液被有机质、氧化铁、硫化物所凝聚; ③成煤植物从土壤中吸取金。有的砂金矿区生长的现代树木, 其灰分含金量可达3~59ppm。有的煤田煤中富集铂族元素。某地烟煤中平均铂含量为7ppm; 有的煤样中还发现0.1ppm的铑含量和0.05ppm的钯含量。

煤中稀土元素和贵金属元素含量达到可采品位的现象是个别的, 而且在煤层中的分布也不均匀, 一般难以开发利用。

(伍大茂 叶敦和 吴传荣)

## meizhongkuangwuzhi

**煤中矿物质** (mineral matter in coal) 煤中伴生的一切无机组分, 既包括肉眼和光学显微镜下可识别的矿物, 也包括与有机质结合的金属原子和阴离子。

**分类** 煤中矿物质可按其来源、形成时期分类。

**按来源分类** 煤中矿物质按其来源可分为植物成因的、碎屑成因的和化学及生物化学成因的等三类。

**植物成因的矿物质** 作为植物生长所需营养物质的矿物质。其中主要包括Ca、K、Mg、Na、Si、S、P、Fe、Cl等元素的化合物及Ti、B、Cu、Mo、Zn、Co等微量元素。其总量一般不超过植物(干基)的2%。它们难以用物理方法脱离。

**碎屑成因的矿物质** 由风和水流搬运并沉积到泥炭沼泽中的碎屑矿物和岩屑。煤中常见的碎屑矿物主要有粘土矿物、石英、长石、云母, 还有锆石、电气石、磷灰石、石榴子石、独居石、重晶石、锡石、磷钇矿等

重矿物, 有时含火山碎屑。

**化学及生物化学成因的矿物质** 在水溶液中直接化学沉淀, 或溶液与泥炭有机质反应以及煤中有机质与无机质反应后形成的矿物质。煤中常见的有高岭石、硫化物、菱铁矿和部分石英。在生物生命活动和死亡后遗体降解过程中产生的CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>S、NH<sub>3</sub>、CH<sub>4</sub>和酶、有机酸、腐植质等, 对矿物的形成有明显的影响。

**按形成时期分类** 煤中矿物按其形成时期可分为同生和后生两类。

**同生矿物** 泥炭聚积期和早期成岩作用阶段所形成的矿物。它们之中, 既有新形成的自生矿物, 也有风和水流带来的碎屑矿物。煤中常见同生矿物主要有高岭石、石英、黄铁矿、菱铁矿等。

**后生矿物** 煤层形成后, 由地下水、热液带来的矿物质由于物理化学条件变化, 形成并沉淀在煤的裂隙、空隙、层面上的矿物。煤中常见的后生矿物主要有黄铁矿、石英、高岭石、方解石、菱铁矿等。后生矿物也包括煤层及其围岩受风化而形成的石膏、褐铁矿等矿物。

**常见矿物** 煤中常见矿物有粘土矿物、氧化物和氢氧化物矿物以及硫化物矿物等。

**粘土矿物** 煤中含量最高的主要矿物, 一般占煤中矿物总量的60%~80%。中国山西西山煤田、平朔煤田, 形成于滨海平原的石炭二叠纪煤中, 粘土矿物占矿物总量的77%~98%。

煤中粘土矿物以高岭石Al<sub>2</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub>, 伊利石KAl<sub>2</sub>(AlSi<sub>3</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub>为主, 而蒙脱石(Al, Mg)<sub>2</sub>(Si<sub>4</sub>O<sub>10</sub>)(OH)<sub>2</sub>·nH<sub>2</sub>O和伊利石-蒙脱石混层矿物等较少。一般认为, 高岭石是在温暖潮湿气候的酸性介质条件下形成的; 蒙脱石主要形成于温暖气候的碱性介质条件下; 而伊利石的形成环境要广些。自生伊利石常与富钾的碱性介质有关。

粘土矿物透光色呈无色或因受腐植酸影响而略带褐色。反射光下呈灰色, 不显突起, 在油浸反射光下为黑色。粘土矿物主要呈微粒状、团块状、透镜状和薄层状产出(参见彩图插页第4页1)。由于粘土矿物的粒径常小于2μm, 在光学显微镜下难以确切鉴定, 需用差热分析、X-射线衍射分析和电镜分析等方法加以鉴定。

各种粘土矿物的比表面积不同, 蒙脱石为600~800万cm<sup>2</sup>/g, 伊利石为600~2000万cm<sup>2</sup>/g, 高岭石为10~50万cm<sup>2</sup>/g。蒙脱石遇水膨胀, 在选煤时能引起煤泥产率增高, 造成脱水困难。

**氧化物和氢氧化物矿物** 在煤中常见的氧化物矿物是石英, 也有金红石及玉髓、蛋白石、赤铁矿、磁铁矿等, 常见的氢氧化物矿物是褐铁矿。

石英  $\text{SiO}_2$  煤中主要矿物,在活水泥炭沼泽中形成的半暗煤、暗淡煤中,石英含量高。

煤中石英多以陆源粉砂级石英碎屑为主。中国西南地区晚二叠世煤中常有自生石英的自形晶和半自形晶产出。热液石英脉多出现在一些中、高煤级煤中。石英在透射光下呈无色透明,反光色呈深灰色,突起很高,油浸反光色呈黑色,有时显乳白色内反射,局部呈彩虹色。

金红石  $\text{TiO}_2$  常见于中国西南地区晚二叠世煤中,也见于中国华北石炭二叠纪煤和新疆、东北中生代煤中。在煤中,金红石呈发育不完善的柱状晶体或它形粒状集合体,散布于基质镜质体中,或与粘土矿物共生。其反光色呈浅灰色,具突起,强非均质性,内反射色为浅黄色到褐红色。

此外,煤中偶见锐钛矿、板钛矿、钛磁铁矿、铬铁矿、铌铁矿、锡石和针铁矿等矿物。

**硫化物矿物** 煤中常见的硫化物矿物是黄铁矿,其次是白铁矿,还有胶黄铁矿、闪锌矿、方铅矿、黄铜矿、硫镍钴矿、雄黄、雌黄等共 30 余种。硫是煤中主要有害杂质,燃煤产生的二氧化硫不仅腐蚀金属设备、影响煤加工产品的质量,还是成为酸雨等环境的污染源。

**黄铁矿  $\text{FeS}_2$**  煤中无机硫的主要来源,有可能用物理方法脱除。黄铁矿属等轴晶系,在薄片为黑色不透明,辅以斜射光时,反射出金黄色,可与惰质体相区别。其反光色呈亮黄白色,突起很高,有时不易磨光,表面常有麻点。

煤中黄铁矿大多呈微粒状、自形晶和莓球状产出(参见彩图插页第 12 页 11),形成于厌氧的还原环境中。煤中也有具生物组构的黄铁矿,以黄铁矿化的高等植物遗体较常见,也有黄铁矿化的藻类遗体、硫酸盐还原菌等微生物以及黄铁矿化的多种门类的海相动物化石。具生物组构的黄铁矿可用以阐明成煤植物和聚煤环境。圆球状和团块状黄铁矿是莓球状等同生黄铁矿在深埋过程中,受热液改造而成。脉状黄铁矿不多见,是充填裂隙的后生矿物。

**白铁矿  $\text{FeS}_2$**  斜方晶系,其反光色具明显的多色性,呈浅黄白色,微带绿色至浅黄褐色,突起稍低,反射正交偏光下具强非均质性,呈深绿、黄绿、蓝绿等偏

光色,以此与黄铁矿相区别。

煤中白铁矿呈放射状,同心圆环状集合体产出,外形多为近圆形。

闪锌矿、黄铜矿、方铅矿、硫镍钴矿等其它硫化物矿物在煤中少见,多呈微粒状、粒状它形集合体和不规则状产出,其成因大多与热液作用有关,由于粒度小,需用电子探针等方法鉴定。

**碳酸盐矿物** 煤中常见的是方解石和菱铁矿,还有白云石、文石和铁白云石等。

**方解石  $\text{CaCO}_3$**  在煤中以脉状充填裂隙的后生方解石为主,有时也充填植物细胞腔,偶见同生的方解石自形晶。中国晚古生代一些煤中有海相钙质动物化石及其碎片。煤层中的灰岩或泥灰岩透镜体、夹层及碳酸盐煤核,可用以阐明煤层的聚积环境。

在普通反射光下,方解石表面光洁平整,微突起,呈乳灰色、烟灰色,常有乳白色、棕色、珍珠色内反射色。脉状方解石解理发育,常见聚片双晶。

**菱铁矿  $\text{FeCO}_3$**  大多是弱碱性、弱还原泥炭沼泽中成岩阶段的自生矿物。常见于中国中、新生代内陆盆地煤中。

煤中菱铁矿呈放射状或同心圆状结核分布在基质镜质体中,多为扁圆形。由于夹有腐植质,透光色常呈褐黄色,反光色呈深灰色,具突起,正交偏光下,非均质性强。

**其它矿物** ①石膏等硫酸盐矿物发育在煤层氧化带煤的裂隙和空洞中,世界上发现的煤中硫酸盐矿物有 20 多种。②磷灰石见于早古生代石煤中,也见于煤层的粘土岩夹矸层及热变煤的热液脉中。③中、新生代陆相沉积盆地的含铀煤产地的煤中,有铀石和沥青铀矿。④德国、英国和乌克兰顿涅茨煤田有些石炭纪煤层,由于含煤岩系上覆二叠纪盐矿床渗下氯化物,煤中盐含量高,被称为“含盐煤”。⑤个别煤中有硒铅矿等硒化物矿物。

煤中矿物的种类、成分、数量、粒度及其与有机质结合状态,是影响煤的可选性和煤炭加工利用特性的重要因素。对煤中矿物及有害、有益伴生元素的研究是地质勘探中煤质评价的主要任务之一。

(任德胎)



# N

naihuoniantu

**耐火粘土 (fireclay)** 耐火度为 1580~1770℃ 的粘土 (分为硬质粘土、软质粘土和半软质粘土) 和耐火度大于 1770℃ 的铝土矿的工业名称。在铝土矿中,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量 > 50% 则称高铝粘土。

**矿物组成** 硬质、软质和半软质粘土中主要由高岭石、埃洛石、伊利石、蒙脱石、叶蜡石等各种粘土矿物以及硬水铝石和软水铝石组成。高铝粘土中主要是硬水铝石、软水铝石和三水铝石等铝矿物和一些粘土矿物, 还常含有铁和锰的氧化物以及有机质、黄铁矿、石英、金红石、碳酸盐等。

**化学成分** 主要为  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  和  $\text{H}_2\text{O}$ , 其次是  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  等。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  主要赋存于氢氧化铝矿物中, 其次赋存于铝硅酸盐矿物中, 一般含量为 30%~50%, 高铝粘土中可达 55%~70%。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  是耐火粘土的主要有益组分, 其含量越高, 耐火度也越高。 $\text{SiO}_2$  主要赋存于粘土矿物及石英等杂质中, 其含量变化很大, 在高铝粘土中, 一般为 3%~35%; 在硬质粘土中可高达 43%~66%。游离的  $\text{SiO}_2$  能减弱粘土的可塑性、收缩率和粘结力, 对耐火制品产生不利影响。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  等则是粘土的有害组分。

**物理性能** 主要包括耐火性、可塑性、烧结性和膨胀性等。

(1) 耐火性。在一定的高温下抗熔化的性质。矿石中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量高, 耐火度高, 反之则低。矿石中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$  及  $\text{TiO}_2$  等杂质多时, 其耐火度降低。耐火度的高低, 直接影响制品在高温下的抗压强度, 是确定制品及其应用范围的重要指标。

(2) 可塑性。粘土粉碎后用水调和捏成泥团, 在外力作用下可任意改变其形状, 除去外力, 仍保持其原形的性能。根据这一性能, 可以制做各种耐火制品。软质粘土的可塑性好, 半软质粘土的可塑性差, 硬质粘土和高铝粘土无可塑性。

(3) 烧结性。粘土矿物在加热时, 质点边缘发生局部熔融而相互粘结的性能。达到烧结时的温度称烧结温度。从局部熔化烧结到全部熔化成流体的温度范围, 称熔融范围。粘土的熔融范围越大, 其工业价值越高。高岭石的烧结温度在 1280~1400℃ 之间, 熔融范围为 350~450℃。

(4) 膨胀性。粘土吸水后体积增大的现象, 是工业上作为脱色剂、净化剂的重要性能。蒙脱石的离子交换能力最强, 因而膨润土的膨胀性也最强。

**矿石类型** (见下页表)。

**矿床成因类型** 主要包括风化残积型、沉积型和变质型。中国耐火粘土矿床主要为沉积型, 其次为风化残积型。

**沉积型** 包括沉积在喀斯特石灰岩、白云岩或其它岩石上的耐火粘土。

中国耐火粘土矿床产地的 98% 以上和探明储量的 99.40% 为沉积型。①中国北方沉积型耐火粘土主要分布在山西、河南、辽宁、河北、内蒙古、陕西等省(区)。几乎均产于含煤岩系之中, 矿床规模大、分布广, 矿体厚且延伸稳定, 常呈层状、似层状, 少数呈凸透镜状产出, 矿石品位好, 是中国耐火粘土的主要开采对象。②中国南方沉积型耐火粘土见于湖北、湖南、四川、云南、贵州、安徽等省, 绝大多数亦与含煤岩系有关, 但大型、特大型矿床较少, 多为中、小型, 矿体厚度变化大, 呈凸透镜状及似层状产出, 矿石品位较差。

**风化残积型** 主要产于酸性和中性铝硅酸盐岩石风化壳中。矿石矿物成分主要为高岭石, 常含粗粒未风化的石英。该类矿床形状很不规则, 矿体厚度变化大, 从数厘米至数十米。比较典型的矿床有: 湖南醴陵的石英斑岩型风化矿床、江西景德镇的花岗岩型风化矿床及广东飞火燕火山碎屑岩型风化矿床。

**变质型** 中国少见。

**工业用途** 耐火粘土在高温条件下能保持体积的稳定性, 具有抗腐蚀性, 且硬度大, 主要用作耐火材料; 其次可作陶瓷、高铝水泥、研磨材料、人造分子筛及提

耐火粘土的矿石类型表

| 类型    | 矿物组成              |                            | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 含量(%) | 耐火度(°C) | 可塑性           | 显微特征                             | 用 途               |
|-------|-------------------|----------------------------|--------------------------------------|---------|---------------|----------------------------------|-------------------|
|       | 主要的               | 次要的                        |                                      |         |               |                                  |                   |
| 硬质粘土  | 高岭石               | 硬水铝石<br>三水铝石<br>伊利石<br>叶蜡石 | (熟料)<br>30~50                        | >1400   | 在水中不膨胀,无可塑性   | 显微块状,坚硬,表面光滑                     | 烧成熟料,用作粘土质耐火材料的骨料 |
| 半软质粘土 | 高岭石               | 伊利石<br>硬水铝石                | >25                                  | >1300   | 在水中轻微膨胀,可塑性较低 | 块状                               | 粉碎后用于耐火制品的填充剂     |
| 软质粘土  | 高岭石<br>伊利石<br>蒙脱石 | 硬水铝石                       | >20                                  | >1200   | 在水中显著膨胀,可塑性强  | 土状                               | 粉碎后用于耐火制品的填充剂     |
| 高铝粘土  | 硬水铝石              | 软水铝石<br>三水铝石<br>高岭石        | (熟料)<br>>60                          | >1700   | 无可塑性          | 显微块状,块状,鳞片状,三角片状,坚硬,粗糙,硬度大,相对密度大 | 烧成熟料,用作高铝质耐火材料的骨料 |

取化工产品的原料,坩埚的掺合料,造纸、橡胶、塑料等的填充料,造型材料等。它广泛用于冶金、建材、化工、机械、轻工等部门。

高铝粘土主要用于制做高铝砖、铝镁砖及刚玉砖,用作高炉、平炉、电炉内衬,也用于炼铝。高铝粘土中常含镓、钒、钛、锆等微量元素,有条件者可综合利用。

**资源分布** 除南极洲外,世界其它各大洲均已发现耐火粘土,主要分布在独联体、美国、英国、澳大利亚、巴西、印度、中国等国家。

**储量** 世界探明储量共约70Gt左右。其中,欧洲约占探明储量的39.4%,北美约占27.7%,亚洲约占13.1%。总资源量估计在100Gt以上。

据1988年统计,中国耐火粘土保有储量为2.013Gt,其中工业储量为0.598Gt,占总储量的29.71%。按矿石类型分,高铝粘土储量为0.318Gt,占总储量的15.80%;硬质粘土为1.30Gt,占总储量的64.58%;软质粘土为0.395Gt,占总储量的19.62%。

截止1990年,中国共查明耐火粘土产地313处,其中大、中型矿区175处,占总储量的90.08%。主要分布在山西、河南、内蒙古、河北、山东、辽宁、吉林、湖北八省(区),共有探明储量1.6Gt以上,约占全国总储量的80%左右。高铝粘土主要分布在山西、河南、河北、贵州四省,约占全国高铝粘土总储量的86%以上。

中国的耐火粘土矿床绝大部分产于含煤岩系之

中,其中84%的矿床属于石炭纪和二叠纪,其余属于三叠纪、侏罗纪和第三纪。含煤岩系以外的耐火粘土矿床数量少、储量小,多不具备工业开发价值。中国含煤岩系中,特别是华北晚古生代含煤岩系中的耐火粘土矿床,规模大,产地集中,储量丰富,层位稳定,矿石品位好,是国内最主要的耐火粘土资源。

#### 参考书目

陶维屏等,《中国工业矿物和岩石》上册,地质出版社,1987。

(张鹏飞 刘钦南)

#### Nanfei Meitian

**南非煤田** (Coalfields of South Africa) 南非共和国19个二叠纪、三叠纪煤田的总称。它们都位于南非东半部。主要产煤区在北部的德兰士瓦省,其次为中部的奥兰治自由邦和东部的纳塔尔省。南非的煤产量在世界各国占第八位,出口量占第三位,煤炭资源量居非洲各国首位。

在地质上,这些煤田全部位于大卡鲁煤盆地内。煤层赋存在二叠纪、三叠纪卡鲁(Karoo)含煤岩系中,经济可采煤层大部分见于下二叠统弗雷黑德(Vryheid)组,个别出现在三叠系。

**地层** 卡鲁含煤岩系呈北东—南西向延伸,在大卡鲁盆地南缘沉积最厚,可达8000~10000m,往北变薄,在开普省以北迅速减薄至750~1000m,到北部边缘甚至尖灭。卡鲁系由下而上可分为德韦卡(Dwyka)



组、埃卡(Ecca)组、博福特(Beaufort)组和莫尔泰诺(Molteno)组。

(1)德韦卡组。在盆地南部出露最完整,在北部边缘缺失,主要由冰碛层组成。

(2)埃卡组。整合于德韦卡组上部页岩之上,主要由三角洲沉积组成,常分为上、中、下三部分。中埃卡组又称弗雷黑德组,由厚层砂岩和砾岩互层组成,间夹泥岩,岩相稳定,是主要含煤段。煤层分布在砂岩之上,并为黑色粘土页岩或细砂岩覆盖。在奥兰治自由邦北部、德兰士瓦省西部、南部和东南部及纳塔尔省北部形成有经济价值的煤矿床。上、下埃卡组由粘土页岩组成,有的地方缺失下埃卡组,在开普拗陷中,此组不含煤。

(3)博福特组。厚度从盆地南部的2700m向北减薄到300~650m。其下部属二叠系,中、上部属下三叠统和一部分中三叠统。该组由长石砂岩、泥岩和页岩组成。在德兰士瓦省中部、西部、北部和东北部,博福特组和上埃卡组中赋存可采煤层。

(4)莫尔泰诺组。属上三叠统,由粗粒砂岩、粘土页岩、高灰分煤层以及砾岩组成。在大卡鲁盆地北部该组缺失。在开普省东北部的莫尔泰诺煤田内,此组含煤。

**构造** 卡鲁含煤岩系在北部德兰士瓦省形成向海岸倾伏的向斜,在南部开普省褶皱强烈,总体构造比较简单,大部地区地层实际上近水平,只被基底断块运动及下伏岩石中喀斯特造成的断裂分割成许多断块,各断块内还有大量断距在10~100m的断层存在。岩浆活动强烈,每300m就有两三个粗玄岩岩床,还有大量厚达10m的岩脉。

**含煤性** 卡鲁系各组地层均含煤,但有工业价值的煤层几乎全部赋存于中埃卡组即弗雷黑德组中。煤层数量不多,有五个可采煤层,一般厚0.7~6m,有的达9m。除下部受古地形影响外,大部分煤层的煤质和厚度都很稳定,偶尔出现局部分岔。中埃卡组的煤层层位往北逐渐升高,煤层加厚。

**煤质** 南非的煤主要是腐植煤,还可见到藻烛煤,腐植煤多呈条带状,含有大量镜煤。沿煤的层理富含细散泥质物。在粗玄岩岩床附近煤质发生变化,其影响范围多在100m以内。南非煤一般呈高灰、低硫(1%)、低挥发分,大部分为沥青煤,少部分为炼焦煤、配焦煤和无烟煤。埃卡组煤质较好,大部分是半沥青煤。只有纳塔尔省的煤含碳量高达80%以上,灰分低于15%,硫分<1%,属优质炼焦配煤。威特班克煤田的第二层煤含不太光亮的烟煤分层,其挥发分24%,水分1.5%,灰分15%,硫分1.4%,可炼成优质焦炭。其余各地的

煤煤质较次,只宜于发电。

**资源** 南非煤炭资源量为205.7Gt,均为硬煤,占整个非洲煤炭资源量的83%,其中400m以浅经过勘探的储量115.5Gt,证实储量61Gt。煤炭勘探储量超过10Gt的煤田有:瓦特贝格(Waterberg),49.9Gt;海费尔德(Highveld),16.9Gt;斯普林斯-威特班克(Springs-Witbank),16.2Gt。它们共占全国总勘探储量的72%。此外,尚有五个煤田勘探储量超过3.0Gt。其中,奥兰治自由邦剩余部分为8.8Gt;弗里尼欣-萨索尔堡(Vereeniging-Sasolburg),4.7Gt;东德兰士瓦(Eastern Transvaal),7.0Gt;斯普林博克-弗拉特斯(Springbok-Flats),3.2Gt;南兰德(South Rand),3.0Gt。

**开采地质条件** 南非煤田的开采地质条件的特点,一是煤层埋藏较浅且大多近水平;二是厚度较大且稳定;三是煤系内火成岩发育。煤炭储量中有96%埋藏深度不到200m,目前最大开采深度320m。煤层厚度超过2m的储量约占80%。粗玄岩常呈岩席出现在煤层上部,或呈岩脉穿插煤层,导致形成天然焦、无烟煤或富含瓦斯,为查明粗玄岩及煤质变化,常需布置大量钻孔。

**开发概况** 南非煤矿床于19世纪中期被发现并开始小规模开采。随后,为满足金矿石矿与金矿工业的需要,大量开采煤炭。20世纪初,南非煤炭开始向非洲一些邻国及亚洲少量出口,70年代成为煤炭出口大国,现每年出口近50Mt,占年产量的27%。煤炭年产量1979年突破亿吨,1992年为177Mt。其中,39%用于发电,近20%用于制造合成燃料。南非是世界上以工业规模用煤生产液体燃料的唯一国家。

(沈震鹏)

neiluxing hanmeiyanxi

## 内陆型含煤岩系 (limnic coal-bearing series)

又称远海型煤系、陆相煤系,内陆环境形成的含煤岩系,全部由陆相沉积物组成。中生代以来,由于全球大陆面积的扩展,以及植物界逐渐适应陆生环境,内陆型含煤岩系逐渐取代了近海型含煤岩系而成为主要类型。

**分布特征** 原始分布范围较局限。

**沉积体系特征** 均为陆相,包括冲积扇沉积体系、河流沉积体系、湖泊沉积体系等。各种沉积体系的发育程度因聚煤古地理环境而异。只含有植物和淡水动物化石。

**岩相特征** 由于侵蚀区就近分布,聚煤盆地本身的地形比较复杂,各种局部因素的影响较大,沉积相在





横向上变化较大, 层序结构单元缺少区域稳定性。

**岩性特征** 由于碎屑物通常未经长距离搬运, 因而沉积物的粒度一般较粗, 分选性、磨圆程度较差, 岩石的碎屑成分较复杂, 横向变化大。

**煤层特征** 煤层稳定性较差, 结构较复杂, 经常形成中厚煤层, 有时为厚至巨厚煤层, 但煤层厚度横向变化大, 分岔、尖灭现象相当普遍。

**煤质特征** 多为低硫煤。

(陈种惠)

## nijiang

**泥浆 (mud fluid)** 粘土与水(或油)按一定比例混合并经机械搅拌或伴以化学处理, 使粘土颗粒高度分散而形成的一种钻孔冲洗介质。按胶体化学, 泥浆属多级分散体系, 其中悬浮体(粗分散体系)和溶胶(胶体分散体系)并存, 且前者的比例较大。配制泥浆的粘土按其所含主要粘土矿物的种类分为高岭石土、伊利石土、蒙脱石土(膨润土)和海泡石土。前两种粘土分布广, 应用普遍。以蒙脱石为主的膨润土以其分散度极好、用量少而成为制作泥浆的最优材料, 准其产量小、用途广、价格高, 使其应用受到限制。以海泡石为主的粘土抗盐性极强且热稳定性较高, 多用于配制盐水泥浆。目前, 泥浆有水基泥浆和油基泥浆两种基本类型, 前者应用范围很广, 后者主要用于石油钻井。

**基本性能** 泥浆是一种性能较好、能满足钻探对冲洗介质要求的冲洗液。它除了能满足冷却钻头、排除岩屑两项最基本要求外, 悬浮岩屑的性能很好, 既有利于携带岩屑又能在冲洗液循环中止时不致因岩屑很快沉淀而造成埋钻事故。通过掺入加重剂人为地加大泥浆相对密度, 还可防止钻孔涌水和井喷。孔内泥浆的静压力可平衡岩层压力, 使孔壁不致坍塌掉块。泥浆中粘土颗粒高度分散与水化, 水分不易渗失, 可避免水敏性岩层因吸水膨胀而使钻孔缩径或塌落。同时, 它渗出少量滤液后形成的一层薄而坚韧的泥皮, 可有效地维护孔壁, 甚至可代替下套管而实现全裸孔钻进, 从而大大简化钻孔结构。在配制和使用泥浆的过程中, 还可针对岩层特性和隐患对泥浆进行化学处理, 使之具有某种特殊的功能, 解决钻进复杂岩层时护壁的困难, 减少孔内事故。为定性、定量描述泥浆的物理化学性能, 特别是那些对钻孔冲洗质量有较大影响的性能, 国内外都规定了若干个泥浆性能指标, 并对它们的测定方法和测试仪器加以标准化。这些指标是: 相对密度(比重)、含砂量、胶体率、稳定性、失水性及造壁能力、流变性(粘度、静切力)、pH 值等。

**配制与净化** 生产上使用的泥浆都是按实验配

方, 或由专设的泥浆供应站统一配制后运送至各个钻场, 或在钻场自行配制就地使用。配制时, 按要求的泥浆性能和经实验选好的配方, 把粘土、水、分散剂(碱)或其它化学处理剂等材料按一定顺序混合, 充分搅拌, 待测定其几项性能指标合乎要求后即可投入使用。搅拌泥浆的方法有用泥浆搅拌机搅拌、用水枪在泥浆池内冲搅、在水力搅拌器内混合旋搅等。泥浆经使用后会混入大量岩屑, 必须及时净化, 即清除其中的岩屑, 待恢复到接近原浆的性能后再重新使用。这样既可避免经常更换新泥浆造成大量浆液消耗, 又不致使泥浆的性能变差。尤其在使用不分散低固相泥浆时, 净化问题更为重要。常用的泥浆净化方法一般都是利用设在地面的泥浆循环沉淀系统(包括泥浆槽、中间沉淀箱、沉淀池和水源箱), 使泥浆在流动过程中逐级沉淀得到净化。另外, 还可利用振动筛或旋流除砂器进行强制除砂, 其除砂效果好, 速度快, 但需增加设备和动力消耗。

**水基泥浆的分类** 水基泥浆分为细分散、粗分散、不分散低固相、混油、充气等类。

**细分散泥浆** 粘土在淡水中高度分散制成。为使粘土高度分散, 通常都掺入化学分散剂并经机械搅拌。这种泥浆是岩心钻探广泛应用的一种普通泥浆, 能满足一般钻孔冲洗的要求, 其缺点是性能不够稳定, 易受可溶性盐类侵污。

**粗分散泥浆** 粘土颗粒较粗的分散泥浆, 它是在使用细分散泥浆的基础上, 通过对受钙侵泥浆的观察和实验逐步发展起来的。它的配制方法是在细分散泥浆中加入适量的无机絮凝剂和有机稀释剂, 促使高度分散的粘土颗粒适度絮凝变粗, 同时保持分散状态。钙处理泥浆、盐水泥浆都属于粗分散泥浆。这种泥浆性能稳定, 流动性好, 有抗侵污能力, 较适用于钻进复杂岩层。

**不分散低固相泥浆** 泥浆中固相体积总含量小于4%, 它可使岩屑处于不分散的絮凝状态, 在地面容易被清除, 泥浆本身始终维持着低固相、低相对密度。其优点是粘土用量极少, 流动性好, 携带岩屑能力强, 失水量较小, 护壁性能好, 允许高速钻进。这种泥浆体系的主要组分是水、膨润土、化学絮凝剂和起护胶稳定作用的降失水剂。煤田钻探现用的聚丙烯酰胺泥浆和双聚(聚丙烯腈和聚丙烯酰胺)泥浆, 都属于不分散低固相泥浆, 使用效果很好。

**混油泥浆** 混有乳化油、原油或柴油, 并使之呈油珠状分散乳化的泥浆。其特点是润滑性好, 流动性好, 且不易失水。

**充气泥浆** (见钻孔冲洗)。

(赵青祥)

nijiang chuliji

**泥浆处理剂** (mud conditioner) 为改善或调节泥浆性能,使之适应不同钻进条件所使用的化学药剂的统称。现时不论配制哪种泥浆都毫无例外地需要利用一些化学药剂进行处理。普通泥浆仅需添加适当的分散剂(纯碱或烧碱)即可获得粘土颗粒高度分散的效果。对普通泥浆再作进一步化学处理,就成为化学处理泥浆,简称化学泥浆。可以调节的泥浆性能主要有:相对密度、粘度和静切力、失水量和 pH 值。有时为改变泥浆类型或减小粘土用量,通过化学药剂处理,可使其具有适度絮凝、选择性絮凝、乳化、发泡、稳泡、消泡等特殊性能。但每一种处理剂在改善泥浆某项性能的同时,往往会干扰或严重影响泥浆的其它性能,故此使用的化学药剂常常不是一种、两种,而需靠数种药剂的配合,才能达到全面改善或全面适应钻孔条件的目的。泥浆处理剂已商品化、标准化和系列化。按其用途可划分为碱度调节剂、杀菌剂、除钙剂、腐蚀抑制剂、消泡剂、乳化剂、滤失降低剂、絮凝剂、起泡剂、堵漏剂、润滑剂、页岩水化抑制剂、表面活性剂、减稠剂、增稠剂、加重剂、解卡剂和高温稳定剂等 18 类。粗略地讲,泥浆处理剂分为无机处理剂、有机处理剂和表面活性剂三大类。

**无机处理剂** 常用的有纯碱  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ 、烧碱  $\text{NaOH}$ 、石灰  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 、石膏  $\text{CaSO}_4$ 、氯化钙  $\text{CaCl}_2$ 、食盐  $\text{NaCl}$ 、水玻璃  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ 、三氯化铁  $\text{FeCl}_3$ 、重铬酸钠  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 、六偏磷酸钠  $(\text{NaPO}_3)_6$  等。它们的作用有控制分散或絮凝的;有调节、控制 pH 值的;有溶解或水解有机处理剂的;也有通过沉淀、中和、水解、络合等反应,去除有害离子,进而充分发挥有机处理剂效能的。此外,还有一些不起任何化学反应的无机惰性材料,用来增加泥浆相对密度,或使泥浆具有一定堵漏性能,或增强其润滑性能的添加剂,包括重晶石  $\text{BaSO}_4$  粉、方解石  $\text{CaCO}_3$  粉、各种形状的堵漏材料及石墨 C 粉等。

**有机处理剂** 品种繁多,按其作用可分为稀释剂(改善流动性)、降失水剂和絮凝剂三类。它们有的是天然的或再加工的产品,有的是人工合成的产品。其中既有低、中分子有机化合物,也有高分子化合物;有自身具有水解性的,也有须借助无机处理剂才能溶解或水解的。有机处理剂的作用通常是多方面的,但又以某种作用为主。其具体化学作用及原理都较复杂,简单地讲就是,它们或起加强粘土颗粒的水化、分散和护胶稳定作用,或起促成不同程度的有选择性的絮凝作用,进而达到改善泥浆流动性、失水性、聚结稳定性和分散絮凝性等目的。常用的稀释剂有丹宁或栲胶碱液、铁

铬木质素磺酸盐 FCLS 等;降失水剂有煤碱剂  $\text{NaC}$ 、腐植酸衍生物、钠羧甲基纤维素  $\text{Na-CMC}$ 、水解聚丙烯腈 HPAN 等;絮凝剂有低水解聚丙烯酰胺 HPAM 或 PHP、聚丙烯酰胺 PAM、顺丁烯二酸酐-醋酸乙烯酯共聚物等。

**表面活性剂** 一种加入量很少就能显著改变液—液、液—固、液—气界面性质的物质。在溶液中,其分子呈线性,一端具亲水性,称亲水基;另一端具亲油性,称亲油基(亦称憎水基)。由于它的这种特性,添加后可使本来互相排斥的油和水联结起来,发生乳化。表面活性剂按其分子溶于水时的状态分成非离子型和离子型两大类。离子型的又可进一步分为阴离子型、阳离子型和两性等三种。表面活性剂的主要功用是,①润湿作用,可以改变界面的润湿程度,直至使其反转(亲水变亲油、亲油变亲水);②乳化或破乳作用,可使相憎两液融合乳化,或使乳化液破乳;③发泡或消泡作用,可使液中气泡稳定而形成泡沫,或破坏气泡外附液膜而消泡。表面活性剂主要用于石油钻井。在煤田钻探中仅用于配制泡沫泥浆和泡沫钻进用的空气泡沫。在小口径高速金刚石钻进时,也常用来配制各种乳状冲洗液。

(赵贵祥)

nitan

**泥炭** (peat) 又称泥煤,高等植物遗体在泥炭沼泽中经过泥炭化作用,形成的具有不同分解程度、松散、富含水分的有机质堆积物。其有机质含量一般为 50%~80%。其中的植物残体仍不同程度地保留有植物结构。

泥炭的性质,主要取决于成泥炭植物遗体的种类、泥炭的生成环境、演化过程以及泥炭的物质组成。

**物理性质** 包括颜色、结构、分解度、含水性、相对密度(曾称比重)和视密度(曾称容重)等。

**颜色** 一般呈棕褐色、褐色、黄褐色和黑褐色等。泥炭的颜色,与成泥炭植物的种类、分解程度、水分、矿物质含量等因素有关。通常藓类泥炭分解程度低,颜色较浅,一般呈褐黄色和黄褐色;草本泥炭颜色较深,多呈棕褐色、褐色、黑褐色等;木本泥炭则以褐棕色为主。

**结构** 指不同形状的纤维素和其它固相物质,包括腐植质和矿物质的组合排列方式,通常分为七种(表 1)。

此外,随着微生物分解作用的加强,泥炭中植物残体随之变细、变碎。一般弱分解的草本泥炭为粗纤维状,中—强分解的草本泥炭为细纤维状、碎纤维状或颗粒状。矿物质含量也是影响泥炭结构的因素之一,一般

表 1 泥炭结构类型

| 泥炭类型       | 结构     |
|------------|--------|
| 泥炭藓泥炭      | 疏松海绵状  |
| 棉花莎草、泥炭藓泥炭 | 纤维—海绵状 |
| 芦苇泥炭、木贼泥炭  | 粗纤维状   |
| 苔草泥炭       | 细纤维状   |
| 木本、苔草泥炭    | 小块—纤维状 |
| 木本泥炭       | 小块状    |
| 腐植泥炭       | 块状—团粒状 |

矿物含量较高的泥炭，多呈土状。

**分解度** 植物残体由腐解作用而形成的无定形腐植质的含量，以泥炭中无定形腐植质占有机质总量的百分率(%)表示。它是研究泥炭分类及评价泥炭质量的重要指标之一。

一般，富营养泥炭的分解度高于贫营养泥炭，中营养泥炭的分解度则介于两者之间。同一泥炭类型分解度的差别又取决于不同地区的水热条件和泥炭性质的差异。中国东北山地丘陵区富营养泥炭的分解度一般为15%~30%，而长江中下游地区和华南山区的同类泥炭的分解度一般为35%~50%。分解度还与不同深度内微生物的种类和数量有关。由表层向深部，微生物的种类、数量减少，导致表层泥炭分解度均高于中、下层。

此外，泥炭的分解度还与泥炭的组成和性质有关。

**含水性** 泥炭具有疏松多孔的特性，使其能吸收和保持大量水分。泥炭的含水性以湿度和持水量来表示。

泥炭的湿度是指泥炭中所含水分的重量占泥炭总重量的百分率。

泥炭的持水量是指泥炭中所含水分的重量占泥炭下物质重量的百分率。

泥炭的持水量，与泥炭的类型、灰分含量、分解度有关。

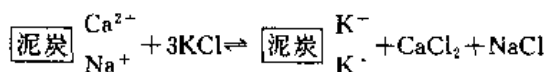
**相对密度** 单位体积内泥炭物质的重量(不含孔隙)与同体积水的重量之比，曾称真比重。泥炭的相对密度一般为1.20~1.60，藓类泥炭较小，木本和草本泥炭较大。

**视密度** 单位体积内泥炭(含孔隙)的重量，曾称容重、假比重。其单位为g/cm<sup>3</sup>。泥炭的视密度分为湿视密度和干视密度，前者指自然状态下的视密度，一般为1.0~1.3g/cm<sup>3</sup>；后者指风干或烘干状态下的视密度，一般为0.2~0.5g/cm<sup>3</sup>常用。

**化学性质** 包括泥炭的离子吸附和交换性能、盐

基饱和度和酸碱性、氧化—还原作用、生理活性、可燃性等。

**离子吸附和交换性能** 指泥炭表面负电荷所吸附的许多阳离子，同泥炭液相阳离子相交换的性能。离子交换作用以下式表示：



度量离子交换作用及其性质的指标，主要是阳离子的交换量和盐基饱和度。泥炭阳离子交换量即泥炭吸附阴离子数量的总和，通常以每100克泥炭所吸附的全部阳离子的毫克当量来表示，一般多在30~200mmol/100g之间，其大小与泥炭胶体的种类和数量有关，加拿大泥炭一般为120~200mmol/100g，日本泥炭为120mmol/100g，中国东北三江平原草本泥炭多在50mmol/100g左右。

**盐基饱和度** 指泥炭中有机质胶体所吸附的碱性金属离子占阳离子交换总量的百分率。据测定，泥炭盐基饱和度一般为60%~80%，但不同类型泥炭有所差异。

**酸碱性** 泥炭溶液中氢离子浓度的负对数值，一般用pH值表示。它主要由植物遗体转化中产生的酸性和碱性物质引起。H<sup>+</sup>的来源主要是泥炭在有机质转化过程中产生的有机酸和碳酸，OH<sup>-</sup>则来源于泥炭中的碳酸盐和其它碱性盐类物质。

泥炭的酸碱性与泥炭类型有关。贫营养泥炭呈强酸性反应，富营养泥炭酸性较弱。

**氧化—还原作用** 泥炭中可变原子价有机和无机物质，在生物化学和化学过程中所进行的氧化—还原反应。

泥炭沼泽中的氧是主要的氧化剂。它来自大气，其数量受沼泽覆水程度制约。沼泽水位较高时，泥炭层被水所饱和，氧的含量下降，泥炭中还原物质浓度增大。反之，在水位较低时，泥炭层通气良好，氧的含量增多，氧化物增加。泥炭的氧化—还原作用制约着微生物的种类和活动强度，影响着泥炭层有机质的转化方向和速度。

**生理活性** 泥炭中腐植酸类物质对生物机体的刺激和加速生命活动的能力，又称生物活性。它既能加强植物根系的发育，又能使植物添叶、变绿，促进植物的生长和发育。

**可燃性** 泥炭中因含有较多的有机物质而具有可以燃烧的性能。可燃性的度量用发热量表示。泥炭的发热量主要与其有机质含量及有机质的元素组成等有关(表2)，通常随有机质中碳、氢元素含量的增多而增高。

表2 中国泥炭发热量一览表 (单位:千焦/克)

| 泥炭类型 | 有机质<br>(%) | 灰分<br>(%) | 有机质元素组成 |      |      |       | 代表产地   |
|------|------------|-----------|---------|------|------|-------|--------|
|      |            |           | C       | H    | N    | O+S   |        |
| 草本泥炭 | 60.20      | 18.22     | 62.21   | 6.98 | 1.11 | 22.86 | 吉林桦甸   |
| 草本泥炭 | 56.29      | 17.22     | 61.89   | 6.12 | 1.25 | 22.31 | 辽宁抚顺   |
| 草本泥炭 | 41.54      | 14.25     | 44.17   | 5.74 | 1.52 | 26.48 | 四川若尔盖  |
| 草本泥炭 | 40.34      | 14.08     | 44.39   | 5.77 | 1.47 | 26.44 | 吉林汪清   |
| 草本泥炭 | 34.31      | 12.44     | 38.76   | 5.39 | 1.46 | 27.78 | 广西融安   |
| 草本泥炭 | 26.84      | 15.24     | 35.37   | 5.16 | 1.32 | 28.29 | 黑龙江伊春  |
| 草本泥炭 | 20.54      | 8.24      | 33.44   | 5.30 | 1.40 | 31.14 | 内蒙古林西县 |

**化学组成** 泥炭由有机质、矿物质和水等三部分物质所组成。

**有机质构成** 泥炭中有机质由未完全分解的植物残体和无定形腐植质两部分所组成。它决定了泥炭的物理、化学性质和利用价值。

**有机质含量** 指泥炭中的有机质占泥炭干物质总量的百分率(%)。与国外泥炭相比中国泥炭有机质的含量较低(表3)。

**有机质元素组成** 泥炭中有机质由碳、氢、氧、氮、硫等元素所组成。其含量的变化主要与成煤植物类型有关。泥炭有机质元素组成如表4所示。

**有机质组分组成** 主要包括苯萃取物、水溶物和半纤维素、腐植酸、纤维素和非水解物。据分析测定,不同类型的泥炭其有机质的组分含量明显不同(表5)。

表3 部分国家泥炭有机质含量一览表

| 产 地     | 有机质含量<br>(%) | 备 注        |
|---------|--------------|------------|
| 中国 吉林省  | 65.4         | 72 个样品平均数  |
| 黑龙江省    | 61.2         | 134 个样品平均数 |
| 若尔盖地区   | 67.45        | 60 个样品平均数  |
| 日本 北海道  | 68.2         | 41 个样品平均数  |
| 美国 明尼苏达 | 79.8         |            |
| 前苏联     | 92.4         | 908 个样品平均数 |

表4 泥炭有机质元素组成

| 泥炭类型    | 有机质<br>(%) | 灰分<br>(%) | 有机质元素组成(%) |      |      |       | 代表产地   |
|---------|------------|-----------|------------|------|------|-------|--------|
|         |            |           | C          | H    | N    | O+S   |        |
| 藓类泥炭    | 67.01      | 7.2       | 59.92      | 6.41 | 1.01 | 41.38 | 内蒙古伊尔施 |
| 苔草泥炭    | 75.66      | 20        | 68.68      | 6.0  | 2.12 | 32.79 | 黑龙江穆稊  |
| 苔草泥炭    | 41.56      | 18        | 48.64      | 5.74 | 2.46 | 35.82 | 四川若尔盖  |
| 芦苇—苔草泥炭 | 45.95      | 21        | 47.55      | 5.83 | 2.47 | 35.13 | 辽宁清原   |
| 芦苇—苔草泥炭 | 54.01      | 15        | 58.88      | 5.95 | 2.17 | 31.99 | 吉林永吉   |
| 芦苇泥炭    | 37.30      | 18        | 34.88      | 5.16 | 2.52 | 38.49 | 山西宁武   |
| 草本、木本泥炭 | 33.38      | 40        | 36.38      | 5.73 | 2.02 | 34.66 | 湖北利川   |
| 木本泥炭    | 29.27      | 43        | 37.05      | 5.95 | 2.72 | 26.28 | 广东增城   |

表5 不同类型泥炭有机质含量 (单位:干基%)

| 泥炭类型    | 分解度 | 木质素   | 木质素和半纤维素 | 纤维素   | 纤维素  | 非木质素  | 泥炭来源   |
|---------|-----|-------|----------|-------|------|-------|--------|
| 泥炭藓泥炭   | 10  | 1.64  | 26.75    | 16.09 | 3.37 | 3.50  | 内蒙古阴山麓 |
| 草本泥炭    | 20  | 2.40  | 23.74    | 20.10 | 3.27 | 7.78  | 黑龙江穆图  |
| 草本泥炭    | 30  | 3.30  | 4.34     | 25.50 | 5.31 | 4.01  | 山东即墨   |
| 草本泥炭    | 28  | 3.01  | 5.40     | 23.18 | 5.18 | 9.43  | 新疆博湖   |
| 木本、草本泥炭 | 30  | 3.15  | 1.90     | 27.18 | 5.50 | 4.87  | 广西博北   |
| 木本泥炭    | 45  | 10.12 | 10.31    | 66.16 | 9.62 | 1.13  | 广西博北   |
| 木本泥炭    | 40  | 7.18  | 10.14    | 40.12 | 6.71 | 15.00 | 云南蒙自   |

**矿物质** 泥炭中的矿物质,按其来源可分为植物体矿物质、泥炭化中形成的矿物质和地下水中矿物质三种。

**植物体内矿物质** 主要来源于成煤植物本身,不同植物中的矿物质含量不同,一般都小于5%。它们主要是由硅、钙组成的矿物,并常以硅酸凝胶、草酸钙石等形式存在。

**在泥炭化过程中形成的矿物质** 主要是由水流或风力搬运到泥炭沼泽中的长石、石英等碎屑矿物,从水溶液中沉淀的黄铁矿、粘土矿物、蛋白石等化学成因矿物。

**由地下水带来的矿物质** 通常沉淀于泥炭裂隙、层面或风化溶孔中。

泥炭中矿物质含量常以灰分组成表示,一般以 Si 含量最高,其后依次为 Fe、Al 或 Ca、Mg,最少是 K、Na 等元素。

### 分类

国际泥炭分类 国际泥炭学会 (International

Peat Society, IPS) 于 1979 年 9 月提出了泥炭分类的原则和依据 (表 6)。

**中国泥炭分类** 中国主要根据泥炭沼泽水的补给、pH 值、矿物质数量及生长的植物种类,划分为贫营养泥炭沼泽、中营养泥炭沼泽及富营养三大类,在这三种不同营养泥炭沼泽发育的泥炭,分别称为贫营养泥炭、中营养泥炭和富营养泥炭。再按植物残体类型及其组合情况,将泥炭划分为藓类、草本、木本及其复合等 10 个亚型 (表 7)。

表7 中国泥炭分类

| 型     | 亚 型                                      |
|-------|--|
| 贫营养泥炭 | 藓类泥炭<br>木本—藓类泥炭<br>草本—藓类泥炭<br>草本—木本—藓类泥炭 |
| 中营养泥炭 | 木本—草本—藓类泥炭<br>藓类—草本泥炭<br>草本泥炭            |
| 富营养泥炭 | 木本泥炭<br>草本—木本泥炭<br>木本—草本泥炭               |

**中国通用泥炭应用分类** 选定两级分类系统 (型和组)。分类指标主要是灰分和分解度 (表 8)。

**用途** 可用于农业、工业和医药卫生等许多方面。

农业上,用以制作腐植酸铵、腐植酸磷、腐植酸氮磷和腐植酸氮磷钾等腐植酸类肥料以及营养土和营养钵等。它们对改良土壤、作物增产都有很好的效果;营养土、营养钵等主要应用于蔬菜、经济作物和花卉栽培。

表6 国际泥炭分类

| 分 类 依 据 | 泥 炭 类 别                  |
|---------|--------------------------|
| 营养状况    | 贫营养泥炭<br>中等营养泥炭<br>富营养泥炭 |
| 植物组成    | 藓类泥炭<br>苔草、莎草泥炭<br>木本泥炭  |
| 分解程度    | 弱分解泥炭<br>中等分解泥炭<br>强分解泥炭 |

(据 IPS 泥炭分类工作组, 1979)

表8 中国通用泥炭应用分类

| 级<br>(灰分%)   | 腐(分解度%)                  |                               |                          |
|--------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
|              | 高分解>40<br>(纤维含量<br><40%) | 中分解20~40<br>(纤维含量<br>40%~60%) | 低分解<20<br>(纤维含量<br>>60%) |
| 低灰分<br><15   | 低灰分<br>高分解泥炭             | 低灰分<br>中分解泥炭                  | 低灰分<br>低分解泥炭             |
| 中灰分<br>15~30 | 中灰分<br>高分解泥炭             | 中灰分<br>中分解泥炭                  | 中灰分<br>低分解泥炭             |
| 高灰分<br>31~50 | 高灰分<br>高分解泥炭             | 高灰分<br>中分解泥炭                  | 高灰分<br>低分解泥炭             |

工业上,用以制作泥炭纤维板、波形瓦等建筑材料以及轻型泥炭保温砖、保温套管等保温材料。从泥炭中提取的腐植酸及其盐类,可用于生产染料、涂料、离子交换剂、泡沫稳定剂、蓄电池负极板膨胀剂,以及钻孔冲洗液、水泥浆和混凝土的调整剂。用盐酸处理后制成的氢型离子交换剂,用于脱除废水中的铜、铅,效果达98%;用硫酸处理后制成的离子交换剂和油凝聚剂,对处理工业废水,均有效果。

医药卫生上,泥炭腐植酸盐具有止血、止痒、收敛和消炎等作用。泥炭浴疗法,在欧洲已有悠久的历史,对促进血液循环,特别是对风湿性关节炎、风湿性心血管病以及泌尿器官等方面的疾病,疗效均较明显。

低灰分的优质泥炭在低温干馏时,可得到焦油、煤气和半焦等产品。泥炭焦油经进一步加工后,可制得蜡、酚类、柴油、浮选药剂、防腐油和切削用的乳化液等多种化工产品。泥炭半焦的孔隙度大,吸附能力强,还原性能好,可制造活性炭、无烟燃料等,还可以作为冶炼有色金属的还原剂和燃料,或作为烧结矿的燃料。

#### 资源

**世界泥炭资源** 1980年,芬兰K.基维年教授对世界各国泥炭地的面积和泥炭储量等作了研究,提出世界泥炭地面积约为179.026Mha,泥炭总储量为426.37Gt,平均泥炭积累量约为31.47t/ha。

1988年,苏联A. C. 奥列纳(A. C. Оленя)提出了世界各国泥炭资源统计资料(表9),所计资源量比前者略多。

泥炭的形成和聚积,受气候、地质、地貌和水文等因素的控制。世界各地泥炭形成条件复杂,但有一定的规律性。

(1)北半球泥炭分布广泛,类型较多,资源比较丰富;南半球分布零星,类型较贫乏,资源量较少。

(2)由北、南两极高纬度向低纬度,依次可划分为极地弱度泥炭堆积带,温带强度泥炭堆积带,温带弱度泥炭堆积带,山地弱度泥炭堆积带,无泥炭堆积带,热带、亚热带弱度泥炭堆积带,赤道强度泥炭堆积带(图1)。

(3)沿海地带泥炭的聚积多于内陆地区,这与沿岸洋流作用和地貌条件有关;欧亚大陆西岸的泥炭较东岸发育;而北美大陆则与此相反。

(4)世界泥炭分布不均衡的特点非常明显。南、北半球的泥炭丰富程度不同。北半球泥炭资源主要集中在北纬50°一带。

**中国泥炭资源** 据地质矿产部全国泥炭资源调查成果,全国泥炭地面积为1044.068kha,泥炭资源量为4.687Gt(干重),大多分布于西南的若尔盖高原、云贵高原,东部的长江下游平原及东北的大小兴安岭和长白山一带等四个地区,其泥炭资源量分别占全国泥炭资源量的51.48%、20.31%、7.15%及6.92%,四区合计占全国的85.86%。藏南谷地、天山山地、松辽平原和粤闽丘陵与沿海平原虽然也有泥炭分布,但其资源量仅占全国的9.5%。其余地区泥炭资源总量不足全国的5%(图2)。

表9 世界各国泥炭资源

| 国家 | 泥炭地面积<br>(10 <sup>4</sup> km <sup>2</sup> ) | 泥炭地面积<br>占国土面积<br>(%) | 泥炭地面积<br>占世界<br>(%) | 泥炭储量<br>(10 <sup>10</sup> t) | 泥炭储量<br>占世界<br>(%) | 备注 |
|----|---|-----------------------|---------------------|------------------------------|--------------------|----|
| 苏联 | 106.00                                      | —                     | —                   | 256.20                       | 60.30              | —  |
| 芬兰 | 99.4  | 5.6                   | 21.8                | 100.0                        | 23.5               | 1  |
| 波兰 | 18.4  | 26.3                  | 4.1                 | 55.0                         | 12.9               | 2  |
| 瑞典 | 7.9   | 13.9                  | 1.0                 | 11.2                         | 2.6                | 3  |
| 挪威 | 6.0   | 6.2                   | 0.6                 | 8.0                          | 1.9                | 4  |

续表

| 国 家    | 泥炭矿产<br>地 面 积<br>(Mha) <sup>①</sup> | 占本国面<br>积百分比<br>(%) | 矿产地堆<br>积 强 度<br>(t/ha) <sup>②</sup> | 泥炭储量<br>水分在 40% 以下<br>(Gt) <sup>③</sup> | 占世界泥炭<br>储量百分比<br>(%) | 位 次 |
|--------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|---|-----------------------|-----|
| 丹 麦    | 0.34                                | 7.9                 | 3823                                 | 1.3                                     | 0.28                  |     |
| 冰 岛    | 1.0                                 | 9.7                 | 2000                                 | 2.0                                     | 0.42                  |     |
| 德 国    | 1.23                                | 3.45                | 5935                                 | 7.3                                     | 1.55                  | 7   |
| 英 国    | 1.60                                | 6.6                 | 3562                                 | 5.7                                     | 1.2                   | 9   |
| 爱尔兰    | 1.23                                | 17.0                | 4715                                 | 5.8                                     | 1.2                   | 8   |
| 法 国    | 0.4                                 | 0.7                 | 6125                                 | 2.45                                    | 0.5                   | 16  |
| 荷 兰    | 0.43                                | 10.4                | 6000                                 | 2.58                                    | 0.5                   | 14  |
| 奥地利    | 0.024                               | 0.3                 | 3333                                 | 0.08                                    | 0.02                  |     |
| 比利时    | 0.018                               | 0.6                 | 5388                                 | 0.097                                   | 0.02                  |     |
| 瑞 士    | 0.055                               | 1.3                 | 4000                                 | 0.22                                    | 0.05                  |     |
| 意大利    | 0.06                                | 2.0                 | 41666                                | 2.5                                     | 0.53                  | 15  |
| 西班牙    | 0.006                               | 0.01                | 3000                                 | 0.018                                   | 0.01                  |     |
| 葡萄牙    | 0.02                                | 0.20                | 4000                                 | 0.08                                    | 0.02                  |     |
| 希 腊    | 0.05                                | 0.64                | 80000                                | 4.0                                     | 0.85                  | 12  |
| 波 兰    | 1.5                                 | 4.7                 | 4000                                 | 6.0                                     | 1.27                  | 10  |
| 捷克斯洛伐克 | 0.034                               | 0.26                | 14705                                | 0.50                                    | 0.1                   |     |
| 南斯拉夫   | 0.10                                | 0.4                 | 3000                                 | 0.3                                     | 0.06                  |     |
| 罗马尼亚   | 0.007                               | 0.08                | 3000                                 | 0.021                                   | 0.01                  |     |
| 匈牙利    | 0.10                                | 1.0                 | 800                                  | 0.08                                    | 0.02                  |     |
| 保加利亚   | 0.003                               | 0.03                | 26666                                | 0.08                                    | 0.02                  |     |
| 亚洲     | 30.149                              |                     |                                      | 97.906                                  | 20.74                 |     |
| 中 国    | 1.0                                 | 0.1                 | 4600                                 | 4.6                                     | 0.97                  | 11  |
| 日 本    | 0.3                                 | 0.8                 | 4000                                 | 1.2                                     | 0.25                  |     |
| 以色列    | 0.005                               | 0.4                 | 2400                                 | 0.012                                   | 0.01                  |     |
| 阿富汗    | 0.012                               | 0.01                | 3000                                 | 0.036                                   | 0.01                  |     |
| 巴基斯坦   | 0.002                               | 0.002               | 14000                                | 0.028                                   | 0.01                  |     |
| 印 度    | 0.1                                 | 0.03                | 30000                                | 0.3                                     | 0.06                  |     |
| 孟加拉    | 0.3                                 | 2.0                 | 3333                                 | 1.0                                     | 0.21                  |     |
| 斯里兰卡   | 0.01                                | 0.2                 | 3000                                 | 0.03                                    | 0.01                  |     |
| 越 南    | 0.01                                | 0.03                | 30000                                | 0.3                                     | 0.06                  |     |
| 緬 甸    | 0.05                                | 0.1                 | 2000                                 | 0.1                                     | 0.02                  |     |
| 马来西亚   | 2.36                                | 7.0                 | 5000                                 | 11.8                                    | 2.50                  |     |
| 印 尼    | 26.0                                | 13.0                | 3019                                 | 78.5                                    | 16.63                 | 2   |
| 美洲     | 23.685                              |                     |                                      | 73.4                                    | 15.52                 |     |
| 加拿大    | 12.95                               | 1.2                 | 2702                                 | 35.0                                    | 7.4                   | 4   |





续表

| 洲/国       | 泥炭矿产<br>地质储量<br>(tBn t) | 占本洲泥<br>炭矿产比<br>(%) | 矿产地质<br>储量(亿<br>t) | 泥炭储量<br>(亿t) | 占世界泥<br>炭储量比<br>(%) | 注 释 |
|-----------|-------------------------|---------------------|--------------------|--------------|---------------------|-----|
| 美 国       | 14.24                   | 6.1                 | 2347               | 24.2         | 7.49                | 1   |
| 加 拿       | 0.1                     | 0.04                | 10000              | 1.3          | 6.25                |     |
| 三 洲       | 0.1                     | 0.1                 | 1000               | 0.32         | 0.97                |     |
| 阿 拉 伯     | 0.045                   | 0.02                | 2227               | 0.1          | 0.32                |     |
| 墨 西 哥     | 0.13                    | 0.2                 | 3000               | 0.33         | 0.99                |     |
| 马 里 亚     | 0.1                     | 0.2                 | 2000               | 0.2          | 0.64                |     |
| 中 国       | 2.15                    |                     |                    | 1.59         | 4.88                |     |
| 苏 联 亚     | 0.1                     | 0.1                 | 200                | 1.3          | 3.9                 |     |
| 马 里 亚     | 0.3                     | 0.6                 |                    |              |                     |     |
| 北 非 亚     | 0.8                     | 0.44                | 2500               | 0.3          | 0.91                | 12  |
| 南 非 亚     | 0.01                    | 0.005               | 1000               | 0.04         | 0.12                |     |
| 阿 拉 伯 国 家 | 1.2                     |                     |                    | 0.05         | 0.15                |     |
| 天 津 洲     | 0.1                     |                     |                    | 2.4          | 7.37                |     |
| 南 大 利 亚   | 0.22                    | 0.03                | 1341               | 1.9          | 5.74                |     |
| 新 西 兰     | 0.26                    | 1.0                 | 2000               | 1.3          | 3.9                 |     |
| 其 他 国 家   | 0.02                    |                     | 20000              | 0.0          | 0.06                |     |
| 世界总计      | 145.231                 |                     |                    | 273.302      | 100.00              |     |

注:阿拉伯国家泥炭地质储量,2004年数据,按10亿t计。

(据 A. C. D. M. S. (1983))

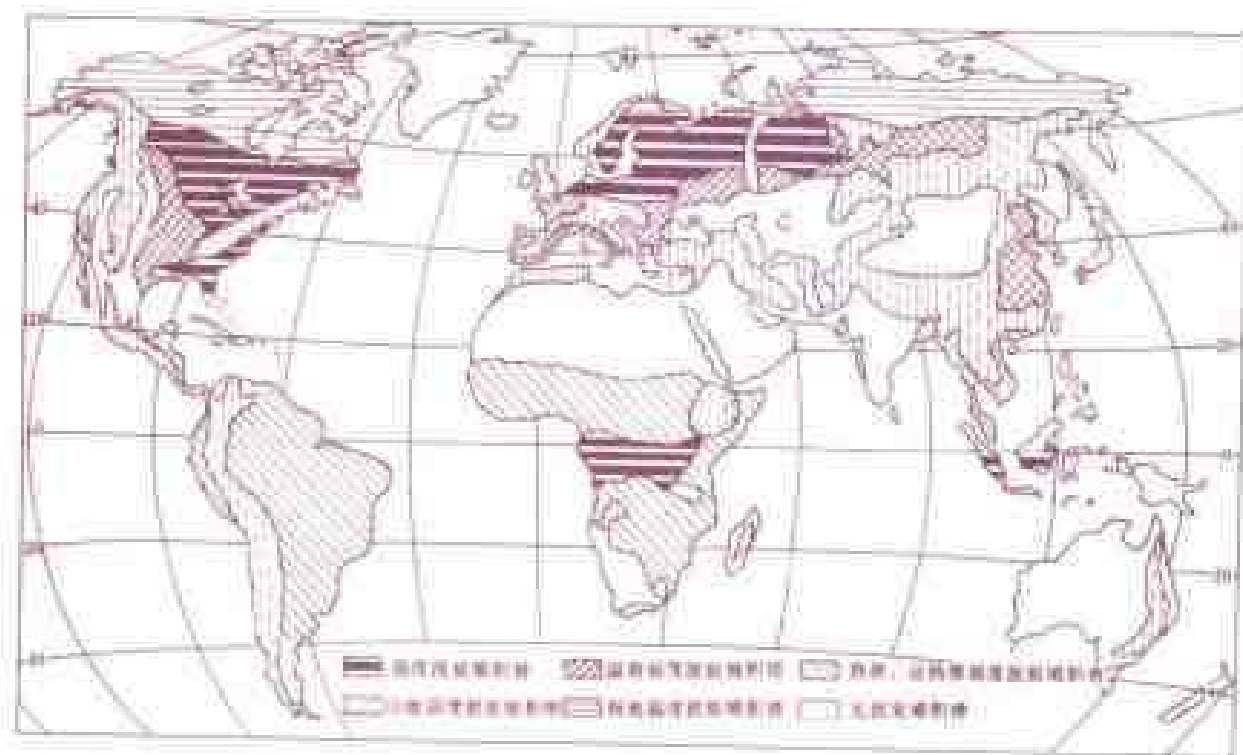


图 1 世界泥炭资源分布示意图  
(据柴岫,1990)

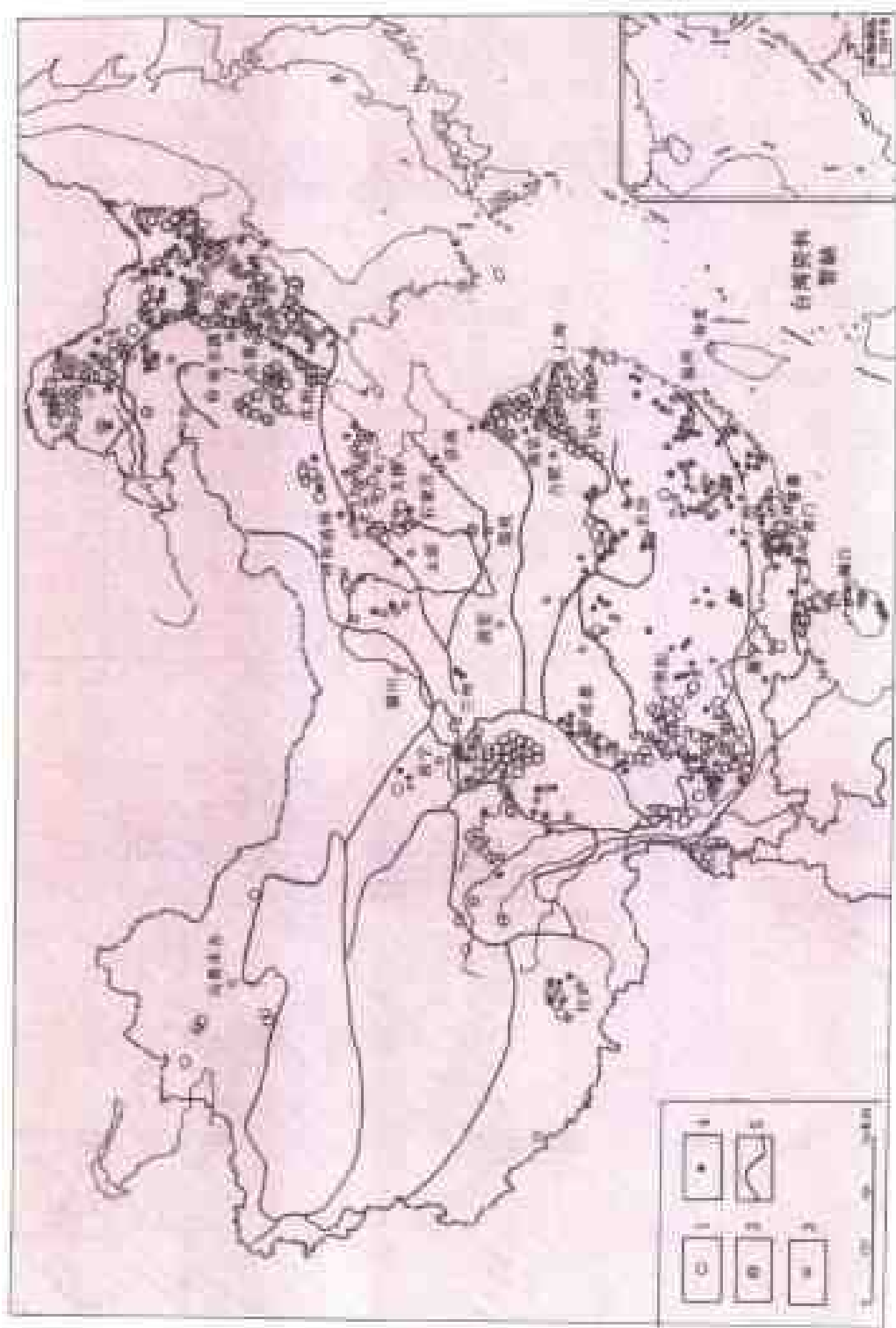


图2 中国泥炭资源分布示意图

1—>1000kt; 2—>1000kt(预测区); 3—100~1000kt; 4—<100kt; 5— --级泥炭区界线  
(据尹善春等, 1991)

### 参考书目

- 柴岫,《泥炭地学》,地质出版社,1990。  
郎惠卿等,《中国沼泽》,山东科学技术出版社,1983。  
武汉地质学院煤田教研室,《煤田地质学》上册,地质出版社,1979。  
尹善春等,《中国泥炭资源及其开发利用》,地质出版社,1991。

(尹善春)

nitanhua zuoyong

**泥炭化作用** (peatification) 高等植物遗体,在泥炭沼泽中经受复杂的生物化学和物理化学变化,转变成泥炭的作用。

**成泥炭植物类型** 成泥炭植物可分为落叶松、赤杨、柳等木本植物、苔草、芦苇、木贼等草本植物,泥炭藓、金发藓、灰藓等藓类植物;依据其对养分的需要,又可分为富营养和贫营养两种植物类型。富营养型植物包括大多数木本植物和草本植物。贫营养型植物主要是指泥炭藓属的藓类植物。不同植物的有机组成不同(表1),有机组成中的元素组成也有差异(表2),这必然影响泥炭的成分和性质。

**有机组成的生物化学变化** 在泥炭化作用过程中,成泥炭植物中所有的有机组分和沼泽中全部微生

表1 各种成泥炭植物的有机组成

| 植物种属   | 有机组成(%) |       |       |       |
|--------|---------|-------|-------|-------|
|        | 蛋白质     | 脂类化合物 | 糖 类   | 木质素   |
| 脂肪藓    | 20~30   | 20~30 | 10~20 | 0     |
| 苔 藓    | 15~20   | 8~10  | 30~40 | 10    |
| 藓 类    | 10~15   | 3~5   | 40~50 | 20~30 |
| 针叶及宽叶类 | 1~10    | 1~3   | >50   | 30    |
| 草 类    | 5~10    | 5~10  | 50    | 20~30 |

表2 成泥炭植物各种有机组成的元素组成

| 有机组成 | 元素组成(%) |      |      |      |
|------|---------|------|------|------|
|      | C       | H    | O    | N    |
| 纤维素  | 44.4    | 6.2  | 49.4 | —    |
| 木质素  | 62.0    | 6.1  | 31.9 | —    |
| 蛋白质  | 53.0    | 7.0  | 23.0 | 16.0 |
| 脂 肪  | 77.5    | 12.0 | 10.5 | —    |
| 角 质  | 61.5    | 9.1  | 29.4 | —    |
| 树 脂  | 80.0    | 10.5 | 9.0  | —    |
| 孢粉质  | 59.3    | 8.2  | 32.5 | —    |

物都参与作用,其变化十分复杂。现代泥炭沼泽一般可分为表层、中间层、底层等三层。泥炭表面和表面之下的表层是泥炭形成层,为氧化环境,有机质丰富,适于微生物繁殖。据统计,每克泥炭中可含微生物数十万至上亿个,其中需氧细菌、放线菌和真菌等大量繁殖,厌氧细菌较少。随着泥炭堆积的增厚或沼泽覆水的加深,原先处于表层的泥炭层逐渐转入底层,需氧细菌减少,厌氧细菌增加,形成与空气隔绝的弱氧化以至还原环境。介于表层和底层之间的过渡层则为中间层。

**泥炭表层的变化** 植物遗体在这里主要经受氧化分解和水解作用,转变成各种较为简单的有机化合物。其中,蛋白质在微生物作用下,经水解转变成  $H_2O$ 、 $CO_2$ 、 $NH_3$ 、氨基酸等;碳水化合物在需氧细菌和酶的作用下,先水解成葡萄糖等单糖,进一步氧化则分解成  $CO_2$  和  $H_2O$ ;相对稳定的木质素在真菌等微生物作用下,转变成比较简单的芳香族和脂肪族的酸类化合物,再进一步分解则形成  $CO_2$  和  $H_2O$ ,被完全破坏而形不成泥炭,这一氧化分解的过程,也称作腐植化作用。它的实质是一种缓慢进展的氧化作用,获得的产物一般是贫氢的物质。与它相伴生的还有丝炭化作用和残植化作用。

**泥炭底层的变化** 在泥炭形成层中留下和生成的各种简单、性质活泼的有机化合物处于还原环境中,在缺氧和矿物质的参与下,进行复杂的合成化作用。纤维素、果胶质等在厌氧细菌作用下通过发酵可形成丁酸、醋酸、 $H_2$  等中间产物;脂肪可生成脂肪酸;蛋白质因多肽链断裂转变成氨基酸等;叶绿素则转变成更稳定的卟啉;木质素则分解成苯环类的衍生物及大量的  $=CO$ 、 $-OH$ 、 $-COOH$  等活性基团,它们与其它分解产物和分解残余物相互作用,形成腐植酸和沥青质,进而转变成泥炭,这一过程称合成化作用。它的实质是还原作用,形成的产物一般是富氢的物质。从胶体化学观点看,这个过程也是凝胶化作用的过程,相应的产物是腐植质。

**泥炭中间层的变化** 这里兼有表层、底层中发生的各种作用,其产物也具有不同程度的中间性质。

在泥炭化作用过程中发生腐植化作用和合成化作用,二者不能截然分开,它们相互影响、相互转化。它们都在微生物积极参与下进行,植物有机质的一部分为微生物的食料,另一部分则被分解或合成为新的化合物,因此都属于生物化学作用。微生物活动愈强烈,植物遗体分解愈彻底。

**影响泥炭化作用的因素** 主要包括成泥炭植物原始质料、沼泽覆水程度、水介质化学性质等。

**成泥炭植物原始质料** 不同植物可形成不同成分

和性质的泥炭。木本植物富含木质纤维组织,略受氧化作用可形成含丝炭化物质较多的泥炭;受凝胶化作用容易形成含腐植质较多的物质。草本植物含较多的纤维素和蛋白质,易被分解破坏,使稳定的壳质组富集,形成含稳定组分较多的泥炭。藓类植物纤维组织丰富且耐酸,又含有能抑制微生物分解的酚类,所形成的泥炭中常保存有较好的植物组织结构。

**沼泽的覆水程度** 指覆水深度和流动性。其差异影响泥炭沼泽中氧的供给和生物化学作用的进行。水浅、流动大的泥炭沼泽,氧的供给充分,多为氧化环境,植物遗体主要经受氧化分解作用;水深、流动小的泥炭沼泽,多为弱氧化乃至还原环境,厌氧细菌大量发育,植物遗体将经受复杂的合成化作用,可形成富氢的腐植质。

**水介质的化学性质** 指水介质的矿化度、酸碱度和氧化还原条件。①水介质的矿化度是指沼泽水介质中所含各种离子、分子、化合物的总量。矿化度的大小不仅决定着沼泽中某种植被的形成,从而影响到沼泽的类型,而且控制腐植质的聚积。在低矿化、低滋育、贫营养的高位沼泽中,腐植酸和糖类可合成为沥青质。低位沼泽中,大量盐类矿物质易与腐植酸发生作用而生成腐植酸盐和沥青物质,致使水介质呈中性或碱性反应,易形成粘结性较强的凝胶化物质。②水介质的酸碱度(pH值)直接影响细菌的生存和活动。酸度高的水介质(pH值小于7),不利于细菌的发育;中性至偏碱性的水介质(pH值为7.0~7.5),最有利于细菌的繁殖。一般低位沼泽泥炭呈酸性,pH值为4.8~6.5;高位沼泽泥炭的酸性较强,pH值为3.3~4.6。滨海泥炭沼泽,常受海水活动的影响,使水介质的酸度降低,呈半咸水和咸水,有利于细菌的发育和活动,易形成粘结性较强的凝胶化物质。③水介质的氧化还原性对细菌的种类和活动有重大影响,沼泽水中氧的含量与水的流动性与覆水厚度有关,在停滞和缺氧的还原环境中,常形成粘结性强的凝胶化物质。

经过泥炭化作用,植物的各种有机组成发生了深刻的变化,形成新的产物泥炭。与原先植物的组成和成分相比,泥炭发生了以下两种变化,①在元素组成上,泥炭中碳、氢和氮含量均有增加而氧含量减少;②在有机组成上,木质素和纤维素等在泥炭中大大减少,蛋白质完全消失,形成了大量腐植酸,并有沥青质形成。

泥炭的有机组成主要包括腐植酸、沥青质、植物残留物、稳定组分。①腐植酸,为一组多种缩合的含酸性基的高分子化合物,呈酸性,能溶于碱溶液而现褐色,为一种无定形的高分子胶体,能吸水膨胀,是泥炭最主要成分。②沥青质,能溶于一般的有机溶剂,可由有机

质合成作用形成,也可由树脂、蜡质、孢粉质等转化而来。③植物残留物,包括未分解或未完全分解的纤维素、半纤维素和木质素。④变化不多的稳定组分,如角质膜、树脂、孢粉等。

### 参考书目

武汉地质学院煤田教研室,《煤田地质学》上册,地质出版社,1979。

杨起、韩德馨等,《中国煤田地质学》上册,煤炭工业出版社,1979。

赵师庆,《实用煤岩学》,地质出版社,1991。

傅家谟等,《煤成烃地球化学》,科学出版社,1990。

E. 斯塔赫等,《斯塔赫煤岩学教程》,杨起等译,煤炭工业出版社,1990。

(尹善泰)

nitan zhaoze

**泥炭沼泽** (peat swamp) 地表常年积水的洼地,其中有大量植物繁殖、遗体聚积并转变成泥炭层的地区。现代泥炭沼泽总面积估计约165.6Mha(百万公顷);有的位于热带近海地区,有的位于温带和寒带内陆地区;生长的植物既有木本,也有草本、藓类。中国泥炭沼泽面积约11Mha,其中有较厚泥炭层堆积的地区约1.044Mha,主要位于若尔盖高原。

**形成条件** ①气候。主要是湿度和温度,它决定了植物的种类与生长速度以及植物遗体的分解速度和泥炭层的堆积速度。②地质地貌。需是地壳下降、地形低洼的地带,以保证水的聚积和泥炭层的堆积。③水文。要求入水量(包括大气降水、地表水和地下水)大于出水量,以保证地表保持过湿,具有停滞、微弱流动的水体。

**形成方式** ①水域沼泽化。湖泊、海湾、潟湖等地区,由于河流带来的泥砂及植物遗体与浮游生物的堆积,使水体逐渐变浅,水面收缩,岸边植物相应地向湖心蔓延,导致湖泊或海湾、潟湖的消失,淡化成泥炭沼泽。②陆地沼泽化。地势低洼、潜水位高或河湖水泛滥、泉水流入的地段,如河漫滩、冲积扇前缘洼地、山间盆地、溶蚀洼地等。由于经常处于过湿或较浅积水状态,草甸植物逐渐被喜湿沼泽植物所替代,随沼泽植物的繁殖、死亡和堆积,草甸逐渐变成泥炭沼泽。中国四川省西北部的若尔盖沼泽,面积约270kha,泥炭层厚1~4m,该区地处海拔3400m的山间盆地,沼泽与湖泊群广布,又有黄河两条支流通过。该沼泽为水域与陆地沼泽化复合而成。

**演化** 根据表面形态、水源补给条件、矿物质养分和植物组合特征的不同,泥炭沼泽演化过程中通常可

出现低位、中位、高位等三种类型。①低位泥炭沼泽。地表较低洼,水源补给丰富,潜水位较高,地表有积水,水中矿物质养料丰富,一般生长富营养植物,形成富营养泥炭。②中位泥炭沼泽。随着泥炭的形成和堆积,地表趋于平坦,补给水源既来自地下水又来自大气降水,水中矿物质养分少,既生长富营养植物,又生长贫营养植物,形成中营养泥炭。③高位泥炭沼泽。随着泥炭的不断形成和堆积,后生植物长在泥炭上,沼泽中央趋于隆起,地下水位经常低于凸起的沼泽表面,植物主要靠大气降水生长,水中矿物质养料贫乏,一般生长贫营养苔藓植物,形成贫营养泥炭。这三种不同类型的沼泽所形成的泥炭,其化学组成亦有差异(下表)。

中国东北各类泥炭化学组成比较表

(单位:干燥泥炭%)

| 类型   | 有机质 | 水分 | H   | N   | P(%) | K <sub>2</sub> O | CaO  | 植物    |
|------|-----|----|-----|-----|------|------------------|------|-------|
| 高位泥炭 | 94  | 7  | 4.3 | 1.2 | 0.17 | 0.29             | 0.39 | 10~20 |
| 中位泥炭 | 78  | 24 | 5.3 | 1.8 | 0.19 | 0.29             | 0.38 | 12~18 |
| 低位泥炭 | 74  | 34 | 6.3 | 2.3 | 0.19 | 0.27             | 1.42 | 20~40 |

(据武汉地质学院煤田教研室  
《煤田地质学》上册,1979)

现代许多泥炭层中,发现有由低位泥炭经中位泥炭向高位泥炭演化的现象。当然,并非所有泥炭沼泽都经历由低位到高位变化,往往还发生互相转化。因它还受地壳运动、气候等多种因素制约。中国泥炭主要形成于低位泥炭沼泽中。不同类型沼泽形成煤岩类型不同的煤。

**类型** 根据所处自然地理环境的不同,泥炭沼泽可分为内陆、近海两种类型。①内陆泥炭沼泽。位大陆内部,主要有山间盆地、山麓冲积扇前缘、河漫滩、河流三角洲、湖滨、平原等类型。②近海泥炭沼泽。位近海地区,主要有滨海平原、滨海三角洲、滨海红树林等类型。不同自然地理条件下所形成的泥炭沼泽及其堆积的泥炭层各有其不同特点。中国晚古生代煤层主要于近海泥炭沼泽内形成;中、新生代煤层主要于内陆泥炭沼泽内形成。

**植物遗体的堆积方式** 按植物遗体在堆积过程中是否经过搬运,可分为原地堆积、异地堆积和微异地堆积。①原地堆积。植物遗体在泥炭沼泽内就地堆积,经成煤作用形成的煤称原地成煤。其特点是煤层底板普遍都有根上岩。绝大多数煤层属原地生成煤。②异地堆积。植物遗体经流水等搬运,离开原生长的沼泽,在河

湾、河口等地堆积,经成煤作用形成的煤称异地成煤。这种煤很少见,煤层不稳定,煤质差。③微异地堆积。植物遗体或泥炭经流水短距离搬运,仍堆积在原生长的泥炭沼泽范围内,经成煤作用形成的煤称微异地成煤。

**泥炭积累速度** 泥炭积累首先和气温有关。因温度影响植物的种类及其生长速度和生长量。中国南方亚热带森林的枯枝落叶层每年每公顷达 24~35t;而东北小兴安岭寒温带森林仅数吨到十几吨。有人统计,每年每平方米热带雨林的有机质产量为 3250g,温带沼泽芦苇为 2900g,温带橡树林为 900g,寒温带苔藓仅 340g。温度还影响微生物的繁殖和活动,从而影响植物遗体的分解。寒带微生物活动弱,植物遗体分解缓慢;热带微生物繁殖快,会加快对有机质的分解。当然,微生物繁殖还受沼泽覆水状况及其酸碱度的控制。

此外,地壳升降状况决定了泥炭的堆积。当地壳下降与泥炭堆积速度大体保持均衡状态,地表始终保持泥炭沼泽环境,泥炭层才能不断加厚。地壳不下沉,已形成的泥炭将遭到分解。地壳上升,已形成的泥炭将遭受冲刷。

因此,泥炭累积是各种因素综合作用的结果。现代泥炭沼泽中泥炭积累速度各地相差很大,大多每年积厚为 0.5~2.2mm,平均为 1mm。美国大西洋沿岸的迪斯默沼泽泥炭积累,每年平均以 2~2.5mm 速度增长,已形成 3~7m 厚的泥炭层。热带地区的加里曼丹森林沼泽,每年泥炭积厚达 3~4mm。

#### 参考书目

- C. C. 卡梅伦等,《国外泥炭地质》(二),地质出版社,1988。  
阪口丰,《泥炭地质——对环境变化探讨》,科学出版社,1983。  
柴岫等,《泥炭地质》,地质出版社,1990。  
郎惠卿等,《中国沼泽》,山东科学技术出版社,1983。  
M. H. 利什特万,《泥炭的基本性质及其测定方法》,科学出版社,1979。  
武汉地质学院煤田教研室,《煤田地质学》上册,地质出版社,1979。  
杨起、韩德馨等,《中国煤田地质学》上册,煤炭工业出版社,1979。

(尹善春)

ningguanji

**拧管机** (device of break out) 钻探作业中升降钻具时拧卸钻杆的专用机械。它是实现升降钻具机械化,提高钻探工作效率,改善钻探工人劳动条件的附属设备之一。它按动力特点可分为电动、机械、液压

等三种类型,其中前两种随着近年来钻机类型的更新已逐渐淘汰。

**电动拧管机** 由电动机通过离合器带动转盘回转,用换向开关控制电动机的回转方向拧卸钻杆。为简化传动并增大传动比,转盘采用蜗杆传动机构。这类拧管机具有零、部件少,构造简单,操作方便等优点,适用于非液压钻机。

**机械拧管机** 借助钻机的动力机通过离合器、换向机构、变速箱,带动转盘进行拧卸钻杆。常用汽车的差速器,将其改制成换向机构,并用汽车后桥圆锥齿轮副作为转盘的孔口传动机构。其主要优点是制造容易,主传动件质量可靠,坚固耐用,维修方便。这类拧管机适用于非液压式钻机。

**液压拧管机** 利用钻机液压系统的压力油,驱动拧管机的液压马达,经传动系统使转盘回转,用操作系统控制液压马达的转动方向,即可改变转盘的转向,完成拧卸钻杆工作。有些拧管机还增设辅助油缸,借助棘轮机构在转盘上产生较大的扭矩,以增强其卸开钻杆的能力,俗称卸钻杆第一扣装置。液压拧管机的优点是传动系统简单、体积小、重量轻、操作方便,尤其是有辅助油缸的拧管机,在钻杆拧得很紧的情况下,也能保证一次卸开,克服了其它类型拧管机常须反复多次冲击卸扣的缺点。这类拧管机产品型号较多,主要适用于液压立轴式钻机。

(郭忠礼)

ningjiaohua zuoyong

**凝胶化作用** (gelification) 高等植物遗体的木质纤维组织在强覆水缺氧泥炭沼泽中经过生物化学和物理化学变化,形成以腐植酸和沥青质为主要成分的作用。该作用是在水介质呈中性至偏碱性反应(pH值为7.0~7.5)、氧化还原电位  $E_h$  较小、厌氧细菌参

与下进行的。

凝胶化作用的过程是,植物遗体的木质纤维组织在强覆水缺氧的滞水沼泽中被浸泡、吸水膨胀、逐渐转变为无结构的凝胶和溶胶的凝胶化物质,细胞腔相应地缩小;同时通过细菌的作用,形成腐植酸等物质。凝胶化作用就是植物遗体木质纤维组织的分解和转变为无结构胶体物质和形成腐植物质的过程。

凝胶化作用进行的程度不同,可产生形态和结构均不相同的凝胶化物质。①在凝胶化作用初期,植物遗体的细胞壁没有或仅发生微弱的膨胀,细胞腔明显且排列规则,此时被埋藏转化,即形成凝胶化组分中的木煤体。②随着凝胶化作用的加深,植物遗体的细胞壁较强或强烈膨胀,细胞腔明显缩小或仅残留很少、很小的孔隙,此时被埋藏转化,则成为凝胶化组分中的木质镜煤体。③当细胞腔中也充满了凝胶化物质,细胞结构只能通过色调深浅的不同予以辨认时,此时被埋藏转化,则成为结构镜煤体。④当凝胶化作用进行得十分强烈时,植物遗体的细胞结构完全消失,形成了均匀的凝胶化物质,此时被埋藏转化,即成为无结构镜煤体。⑤如果凝胶化植物组织在介质中分散成细小的胶粒,即成为溶胶。溶胶的表面能较小,植物遗体中的孢粉、树脂、植物组织的碎片及其它组分以及矿物颗粒很容易落入其中。若介质条件发生电介质的加入、酸碱度及温度等的变化,含有上述物质的溶胶即发生凝聚作用,形成凝胶状态,被埋藏后脱水老化,即转变成煤中的凝胶化基质镜质体。

在凝胶化作用过程中,植物遗体的木质纤维组织发生了生物化学和物理化学两个方面的变化。前者形成腐植酸和沥青质等物质;后者使植物的组织结构发生变化,两者同时发生和进行。

(尹善春)

# P

pengruntu

**膨润土** (bentonite) 又称斑脱岩、膨土岩、膨胀土,以蒙脱石为主要矿物成分的粘土岩。美国学者 W. C. 奈特(W. C. Knight)1898 年对美国怀俄明州附近白垩纪泥质岩研究时所定的名称。

**概述** 质纯的膨润土为浅灰至灰白色,含杂质时呈淡绿、粉红或灰黄等颜色。膨润土的含矿品位通常在 70% 左右,某些优质膨润土矿的品位可达 90% 以上。膨润土中除主要矿物蒙脱石以外,还常含有伊利石、沸石、高岭石、火山喷发残余物和碎屑石英等。蒙脱石(Montmorillonite)是一种含有少量碱或碱土金属离子的含水层状铝硅酸盐矿物,其化学分子式为  $(\text{Na}, \text{Ca})_{0.33}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , 理论化学组成为:  $\text{SiO}_2$  66.7%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  25.1%、 $\text{H}_2\text{O}$  5.0%, 并含有  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  等氧化物。蒙脱石属单斜晶系,单位晶胞由两个硅氧四面体夹一个铝氧八面体组成。由于其中八面体的  $\text{Al}^{3+}$  及四面体的  $\text{Si}^{4+}$  往往部分或全部被其它阳离子置换,使单位晶胞中的电荷处于不饱和状态,因而,需要吸附一定数量的阳离子和水分子来达到电荷平衡。通常,蒙脱石完全脱水时的晶胞层间域为 9.6 Å,当吸附的阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$  时,则晶胞层间域可存在两层水分子层,使晶胞层间域变为 15.5 Å;若吸附阳离子为  $\text{Na}^+$  时,则晶胞层间域只有一层水分子层,层间域变为 12.5 Å。所以,膨润土具有吸水性、膨胀性(吸水后,体积可膨胀 10~30 倍)、吸附性及阳离子交换性等一系列特征。

根据蒙脱石层间域中交换性阳离子成分及其数量不同,膨润土可进一步划分为钙基膨润土(交换性阳离子为  $\text{Ca}^{2+}$ )、钠基膨润土(交换性阳离子为  $\text{Na}^+$ )等。在自然界,由于蒙脱石吸附阳离子的种类和比率受水文、气候、地形、地质和矿石本身的结构构造等的制约,因而,即使是同一矿床也存在垂向上的自然改型现象,即地表一般为钙基膨润土,而在地下深部碱性条件下则变为钠基或镁基膨润土。

**矿床成因类型** 主要分沉积型、热液蚀变形、风化

型等三类。

(1)沉积型。包括①海相层状膨润土矿床,赋存于海相或海陆交互相碎屑岩地层中,主要由火山灰经过搬运、沉积和蚀变形成;②河湖相似层状膨润土矿床,由火山灰在内陆干燥或半干燥钙质湖泊中沉积蚀变形成;③火山沉积型,其含矿岩系为一套火山岩或火山碎屑岩。

(2)热液蚀变形。由酸性、中酸性火山岩受后期热液作用蚀变而成。

(3)风化型。由火成岩、沉积岩和变质岩在中性至碱性介质环境中长期风化而成。

其中,以沉积型矿床的规模大、品位好。含煤岩系中的膨润土矿床主要是沉积型。

**成矿时代和成矿特征** 从晚古生代至新生代均有膨润土矿产出,但主要集中在侏罗纪、白垩纪和第三纪。其中,以中生代以来的膨润土矿质量较好,而晚古生代形成的膨润土,则因其中的蒙脱石转化为高岭石和伊利石而质量逐渐变差。中国的聚煤期与膨润土的成矿期基本相一致,因此在不同地质时代含煤岩系中均有膨润土矿床发现。而且,含煤岩系中的膨润土矿床均比同期非煤系中的膨润土矿床规模大、品位高。含煤岩系中的膨润土矿层距煤层越近其品位越高,离煤层越远,品位渐趋降低。中国膨润土矿床,在同一成矿期内,含煤岩系中以钠基膨润土为主,而非煤系中则以钙基膨润土多见。

**工业用途** ①以膨润土为粘结剂作成铁球团,直接放入高炉冶炼而取代烧结法,可节省熔剂和焦炭各 10%~15%,提高高炉生产能力 40%~50%。②用钠基膨润土配制的钻探泥浆,具造浆率高及其它许多优点,适用于石油钻井、高压喷射井、小口径钻进及不稳定地层钻进。③用钠基膨润土作铸造型砂粘结剂,可加强型砂的抗加砂能力,并能解决型砂易塌方问题。④膨润土可用作农药载体和稀释剂、油脂和石油的净化和脱色剂以及酿酒和制糖业用澄清剂和净化剂等。近十几年来,又开拓了膨润土的许多新用途。



在煤矿生产中,开凿在膨润土中的巷道,因其极易膨胀而使巷道发生形变甚至阻断,不易支护。

**资源分布** 世界膨润土资源产地主要分布于①环太平洋成矿带的加拿大、美国、墨西哥、秘鲁、日本、韩国、中国东南沿海地区、菲律宾;②地中海成矿带的西班牙、法国、意大利、希腊、土耳其、土库曼、乌兹别克、吉尔吉斯、塔吉克、哈萨克和中国新疆、甘肃等地;③环印度洋成矿带的印度、巴基斯坦、伊朗、伊拉克、苏丹、坦桑尼亚、莫桑比克、南非、缅甸、印度尼西亚、澳大利亚西部地区。其中,美国怀俄明州、南达科他州、北达科他州、蒙大拿州、意大利撒丁岛、希腊米洛斯岛、土库曼奥格兰雷、格鲁吉亚阿斯坎、亚美尼亚萨里纤维林和印度古吉拉特邦,都是世界著名的膨润土矿床产地。美国怀俄明州和南达科他州是钠基膨润土的主要产地。

中国膨润土矿床主要分布于黑龙江、吉林、辽宁、江苏、浙江、山东、福建、广东、广西等省区,新疆、甘肃、陕西、江西、四川、河南、安徽等地也有大型优质膨润土矿床。其中,东北三省(尤其是吉林省)和广西的膨润土资源不但储量大、品质优,而且主要是钠基膨润土,是中国重要的膨润土产地。它们主要赋存于侏罗纪和第三纪含煤岩系中。

**储量** 1988年,世界公布已查明的膨润土储量约2.5Gt,其中,中国、美国、苏联占总储量的75%以上,其次为意大利、希腊、澳大利亚以及德国和印度,矿床储量从数兆吨到数十兆吨不等。在世界已查明的膨润土储量中,钙基膨润土约占70%~80%;钠基膨润土储量不足0.5Gt,它主要分布在美国、独联体和意大利、希腊等国家。

到1990年,中国已在全国23个省(区、市)发现膨润土矿床,共有膨润土矿点404处。其中,大型矿床(储量大于10Mt)21个;中型矿床(储量2~10Mt)13个;小型矿床(储量小于2Mt)37个。中国全国膨润土探明储量为1.839Gt。其中,含煤岩系中的膨润土储量为0.888Gt。在上述储量中,钠基膨润土0.5Gt,主要赋存于含煤岩系中(约0.467Gt)。广西宁明第三纪含煤岩系中钠基膨润土的储量近0.4Gt,是目前世界上储量最大的膨润土矿,而吉林刘房子矿的钠基膨润土中,蒙脱石含量超过90%,可与世界闻名的怀俄明膨润土媲美。

#### 参考书目

王鸿禧,《膨润土》,地质出版社,1980。

(张鹏飞 彭苏萍)

pinlu ceshenfa

频率测深法 (frequency sounding method)

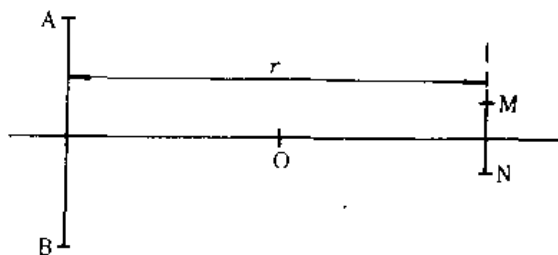
350

又称频率电磁测深法、电磁频率测深法、参数测深法(parametric sounding),根据岩石电阻率和磁导率的差异,通过研究人工在地下建立的不同频率的交流电场和磁场的分布规律来寻找有益矿产和地下水以及解决有关地质问题的一种频率域交流电法勘探方法。

早在20世纪30年代,苏联和美国的一些地球物理学家开始对频率测深的理论进行研究。50年代初期,苏联研究出了相应方法,1956年研制出专用仪器,并进行了野外试验。60年代,该方法在苏联的石油天然气普查中得到较广泛的应用。中国在20世纪70年代初由煤炭科学研究院西安煤田地质勘探研究所引入该方法,研制出相应仪器,并首先在煤田地质勘探中试验和推广。70年代末至80年代初,中国煤炭系统最多曾有11个频率测深队工作,取得较好的地质成果。70年代后期以来,已扩大应用到地矿、石油、冶金等部门。

频率测深法的主要优点是①观测的参数曲线多,分辨能力强;②不需移动供电电极和测量电极,现场操作人员少,施工方便,效率高;③可穿透高阻屏蔽层;④受地形影响较小。

**原理** 频率电磁测深是根据入地电磁波的传播深度随供电频率增高而减小的集肤效应,借助变换工作频率来了解不同深度岩层的电性特征和地质结构的。如下图所示,固定供电偶极AB与测量偶极MN之间的距离 $r$ ,由高到低改变向供电偶极AB供给的交流电频率(从 $10^3\text{Hz}$ 降到 $10^{-1}\text{Hz}$ ),这样,不需移动供电电极和测量电极,便可探测测点O处地下由浅到深各岩层的电性特征,进而了解地下地质结构,解决有关地质问题。



频率电磁测深装置示意图

AB—供电偶极;MN—测量偶极; $r$ —极距,AB中点至MN中点的垂向距离; $O$ — $r$ 中点,即测点位置

**仪器** 频率电磁测深仪由发射机、接收机、发射电源、接收线框等单元组成。新型仪器用微处理机控制仪器工作参数和工作过程,进行数据存贮、现场计算和打印观测数据。供电电极用铁管、不锈钢或铝合金制成。为了减小接地电阻,常用多根电极组成电极组打入地

面。根据发射功率要求,供电电源使用可充电电池或发电机。发射机将供电电源供给的电流转换成可用 20~30 个固定频率(称为频点)发射的交流电,逐个频点依次向供电电极供电,形成人工地下电场,并观测供电电流强度值。发射机要求频率稳定度高,发射功率能满足相应勘探深度的需要,重量轻。电场信号用接收电极接收,它一般用紫铜管或紫铜棒制成,以减小极化电位。用高灵敏度的方形或圆柱形接收线圈接收磁场的三个分量。接收机从电场接收偶极或磁场接收线圈接收观测信号。各频点的观测电压值和计算的视电阻率值由接收机的液晶显示器显示,并可存储在仪器的微型盒式磁带内,还可打印输出。有的仪器还可在液晶显示器上显示实测曲线。

**工作方法** 包括电场发射、接收电场,电场发射、接收磁场和磁场发射、接收磁场等三种方法。①接收电场方法。只能接收电场  $x$ 、 $y$  方向的两个水平分量。②接收磁场方法。可接收  $x$ 、 $y$  方向的两个水平分量和  $z$  方向的一个垂直分量。通过计算还可确定电场和磁场的相位差,并绘制出相位差与频率的关系曲线。电场发射方法可接收电场和磁场。发射机和供电电源布设在供电电极附近。接收机布设在接收电极和接收磁场的线圈附近。接收电场的测量电极和接收磁场的线圈间的距离保持一定。多通道的接收机可同时观测电场和磁场分量。③磁场发射方法。将交流电通入铺设在地面的发射线圈,借助线圈感应产生的交变电磁场向地下发射。接收偶极处电场信号微弱,只能接收磁场。

野外工作一般采用赤道偶极装置,供电偶极 AB 与测量偶极 MN 相互平行并均垂直于测线;也可采用平行测线方式,在一条测线上布设供电偶极,在另一测线上布设接收偶极。极距  $r$  (AB 中点与 MN 中点间的距离)保持一定,并要大于 AB 或 MN 长度的数倍以上。它一般按施工区的实际地质电性条件,通过正演计算和野外试验确定,并应考虑探测目的层的深度和仪器的最大发射功率等因素。

野外观测按照一定的测线间距和测点间距进行。测网密度及其布置方式,主要根据地质任务的要求确定。野外观测时,发射机和接收机的操作员要注意核对工作频点,逐一观测,直到该测点观测完毕。

接收到的信号经过去噪、放大、叠加平均,可计算出相应观测分量的视电阻率值。采用双对数坐标系,以每个固定频率所观测的视电阻率值为纵坐标,频率倒数(周期)的平方根为横坐标,构制野外实测原始曲线。该曲线反映测点处地下由浅到深的岩层电性情况。

**资料解释** 用记录野外实测数据的盒式磁带,可在室内用微机进行多种数据处理,绘制各种解释图件。

资料解释的主要内容如下:

(1)对各测点的实测曲线按不同曲线类型进行分类,根据已有地质、物探资料,特别是钻孔旁的频率测深曲线,划分各电性层与地质层位的对应关系。

(2)构制各测线的等视电阻率断面图;选取反映基准地质层位的相应频率,绘制等视电阻率平面图。通过综合分析断面图和平面图,对工作区构造、岩层分布及所探测对象进行解释。

(3)用人工方法或计算机正演、反演方法定量解释实测曲线,确定电性差异明显的岩层厚度及其埋藏深度,结合定性解释成果绘制最终地质断面图和相应的地质平面图。

**应用概况** 频率电磁测深法在地质勘查中应用较广,①用以寻找石油、天然气和金属矿产资源。②用于普查找煤,特别是在高电阻的石灰岩、火山岩、火成岩覆盖区寻找电阻率较低的含煤岩系;圈定含煤岩系分布范围;估算高电阻率覆盖层的厚度和含煤岩系基底深度;探测煤田内火山岩、火成岩的分布范围和赋存情况,估算其埋藏深度;圈定埋藏较浅的石灰岩岩溶裂隙发育带等。

为提高频率电磁测深法的探测精度,目前正着重研究识别与校正各种影响因素的方法以及层参数定量解释的反演方法和计算机程序。频率电磁测深仪正向多通道、多功能方向发展。最新仪器可同时观测几个参数,还可兼用于大地电磁测深法、瞬变电磁法。

(黄治平)

pucha

**普查** (reconnaissance) 又称详细普查,为煤炭工业远景规划和为详查提供必要地质资料所进行的地质工作。普查在找煤的基础上,在已知有勘探价值的地区或老矿区外围进行。其主要任务是①寻找具有工业价值的含煤地段和煤层;②对普查区有无开发建设的可能性作出工业评价。

**工作方法** 主要取决于煤田的隐伏程度和地质条件的复杂程度。隐伏程度支配着勘探手段的选择和配置,地质条件的复杂程度决定着工程点的间距和密度。煤田隐伏程度不同(暴露煤田、半隐伏煤田、隐伏煤田),普查工作的方法也不同。

**暴露煤田普查** 普查的工作方法以地质填图为主,配合坑探工程和少量的钻探工程,并根据需要作一部分地面物探。其工作程序与找煤阶段基本相同,但工作程度较找煤要提高一步。

根据普查区的地质构造复杂程度,要求进行 1:25000~1:10000 比例尺的地质填图,少数地区也可

进行1:5000比例尺的地质填图。与其相应,地面实测剖面、主干探槽和坑探工程均在找煤的基础上加密一倍。重点层段实测地层剖面的间距,一般为2000~6000m;主干探槽的间距,一般为250~1000m。地质填图采用基本观测线和露头走向追索法相结合,追索法和穿越法同时进行的方法。

在进行详细的地表地质研究和地质填图的基础上,对深部含煤情况及构造变化用少量钻孔进行控制性的揭露。根据地质条件的复杂程度,普查阶段勘探线间距一般为1000~4000m,尽可能垂直地层走向或主要构造线方向布置,一般选择地表地质研究比较清楚、含煤情况较好和构造较简单的地段布置两三条剖面作为普查总景线。总景线上钻孔的间距按岩层倾角与构造变化而定,以能保证获得连续完整的剖面为原则。

**半隐伏煤田普查** 半隐伏区按照含煤岩系出露和隐伏程度,又可分为两种情况。一是含煤岩系部分出露,部分被表土掩盖;二是含煤岩系基本未出露,出露的基岩一般属于含煤岩系的上覆或下伏地层,覆盖的表土层一般较厚。

(1)含煤岩系部分出露,部分为表土覆盖的地区。含煤岩系暴露地段以地质填图为主,配合坑探工程进行地表揭露,并以少量钻探工程进行深部控制。在有小煤窑与废弃窑洞时,要进行详细调查研究。当表土覆盖不厚,物性条件适宜时,追索与圈定表土覆盖层下含煤岩系的上下界线与主要煤层露头,可采用以物探追索与钻探验证相结合的工作方法。

这类地区普查方法总的特点是,由已知点向未知点扩展,通过地质填图方法先了解暴露地段含煤岩系的地质构造特征及含煤情况,然后分析和推断被表土覆盖地段的地质构造特征及含煤情况。当表土覆盖厚度小于3m时,可用槽探揭露基岩分层界线;表土厚度大于3m时,可用探井、浅钻等手段加以揭露。

(2)含煤岩系基本未出露,出露的基岩属于含煤岩系上覆或下伏地层的地区的普查方法是,采用坑探工程揭露基岩分层界线,进行地质填图和详细地表地质研究。在测制地层剖面,建立标准柱状时,应注意查找基岩分层标志,对基岩进行详细分层,以便研究地表褶曲和断裂构造,推测覆盖层下含煤岩系的赋存与分布状态,依据基岩的地层层序规律推定覆盖层下含煤岩系和主要含煤层段的露头位置。

当含煤岩系与其上覆、下伏地层连续沉积或含煤岩系与下伏地层呈假整合,但在广大范围内地层层序规律明显,沉积厚度变化小时的普查方法是,在地质填图过程中详细进行地表地质研究的基础上,分析隐伏区含煤岩系的赋存与分布状况之后,再用电法圈定含

煤岩系的分布范围,并结合地层层序规律,确定找煤钻孔的位置,布置普查总景线,控制矿区总的构造轮廓与了解煤层赋存情况,最后从已获得的资料分析其构造复杂程度与煤层发育情况,布置一般普查线。

当含煤岩系与上覆地层分属不同构造层,且中间有明显剥蚀面时的普查方法是,先研究上覆地层的分层与构造形变特征,分析其厚度变化,分析不整合面产状的变化与含煤岩系的关系,再分析含煤岩系的赋存状况。在对隐伏区的赋煤状况进行分析研究的基础上,先采用重力法或磁法了解覆盖层沉积基底的起伏情况,然后选择其厚度较薄、赋煤有希望的地段,进行电法勘探,根据电测深曲线上所反映的含煤岩系与其下伏地层的电性差异,初步圈出含煤岩系的分布范围,在此基础上,布置钻孔进行验证。

当含煤岩系被断层推覆体掩盖时,应先通过地质填图搞好地表地质研究与区域构造分析,再从断层推覆体的构造形态及其周围出露的含煤岩系下伏地层,初步推断推覆体掩盖下的赋煤状况。当条件适宜时,采用地面物探了解下伏地层顶界面的起伏情况,以配合构造分析推定赋煤有希望的地段。

**隐伏煤田普查** 隐伏区一般地表没有基岩出露或者虽有零星露头分布,但很难判定地下地质构造形态与赋煤状况。在进行普查时,首先通过重力法、磁法、电法、地震等了解表土覆盖层的厚度变化及其底界的起伏情况,圈出含煤岩系赋存的可能范围,再在表土层薄、最有希望见煤地段的中深部布置钻孔加以验证。普查线间距的确定,依据地质构造的复杂程度与区域煤田普查的经验,根据区域的大小布置两三条普查总景线,以获得完整连续的含煤岩系剖面,了解剖面上构造形态及其变化和含煤状况等,达到面上的控制和解剖,指导进一步铺开全区的普查工作。

#### 普查程度要求

(1)查明地层层序和含煤地层时代,详细划分含煤地层。

(2)初步查明普查区的构造形态,了解区内的构造复杂程度,控制可能影响矿区划分的主要构造。

(3)详细了解可采煤层的层数、层位、厚度、结构和煤层的分布范围。

(4)了解可采煤层的煤质特征,初步确定煤种。

(5)初步了解区内老窑、小煤矿和生产矿井的分布,采空区范围及水文地质情况。

(6)了解火成岩的岩性、产状和大致分布范围。

(7)了解区内自然地理条件,第四纪地质、地貌特征,含(隔)水层的层数、岩性、厚度、产状及分布。了解对煤层开采可能有重大影响的含水层的富水性,地下

水的补给、排泄条件。了解区内水文地质条件,指出供水水源勘探方向。

(8)初步了解煤层瓦斯和地温状况。

(9)了解其它有益矿产的赋存情况。

(10)计算 C—D 级煤炭储量,其中 C 级一般应不少于 20%~30%。

**普终程度要求** 构造复杂,煤层不稳定,月 250m 的基本线距最高只能计算 C 级储量的井田,以普终为最后勘探阶段,提交普终地质报告。其工作程度要求是:

(1)初步查明井田的构造形态,控制初期采区内的主要构造,详细了解井田构造复杂程度。

(2)详细了解可采煤层的层数、层位、厚度、结构及可采范围。初期采区范围内煤层的可采边界应适当控制。

(3)详细了解可采煤层的煤质特征,基本确定煤类及其分布,详细了解其它有益矿产的工业价值。

(4)水文地质及其它开采技术条件等方面的工作程度,可根据实际需要(见水文地质勘探)确定。

(左光国 艾树勋)

## Q

qiankongchui zuanjin

**潜孔锤钻进 (downhole hammer drilling)**

用潜孔锤(风动冲击器)配合钻机和相应的钻具进行的冲击回转钻进。潜孔锤接在钻杆的最下端,钻机带动钻杆回转,压缩空气(简称压风)通过钻杆进入潜孔锤产生一定频率的冲击力,对岩石进行破碎,同时利用排出的废气对锤头(钻头)进行冷却,并将凿下的岩屑排出孔外。因潜孔锤的外径小于钻孔直径,可随着钻孔的延深下入孔内(潜孔锤的名称来源于此)。与孔外冲击的风钻相比,其冲击功损失很小,可钻进较深的钻孔。1992年,中国煤田地质总局河北四队用潜孔锤钻进孔深达到410m。

这种方法适用于钻进坚硬岩层,钻孔不易偏斜,在缺水地区使用更显优越。用它钻进坚硬岩层和卵石层,钻进效率可比常规的回转钻进和机械冲击钻进提高数倍至十几倍,已作为先进技术加以推广。其应用领域不断扩大,过去主要用于钻矿山爆破孔,目前在水电、铁路、公路、水井、建筑基桩、地质勘探等方面都已应用。

**潜孔锤** 靠自身的配气系统使压缩空气交替地进入活塞(冲锤)的前后气室,使活塞连续地作往复运动,活塞向下运动到终点时,冲击锤头的尾部,利用锤头下端的硬质合金球齿破碎岩石。按配气系统的结构特点,潜孔锤分为有阀式和无阀式两种。

(1)有阀潜孔锤。其气流由阀片控制,按排气方式又可分为旁侧排气和中心排气两种。旁侧排气有阀潜孔锤使用最早,其废气由锤头侧面排出。中心排气有阀潜孔锤的废气由锤头的中心孔排出,比较起来,以中心排气方式排除岩屑的效果好,锤头使用寿命长,钻进效率高。

(2)无阀潜孔锤。没有阀片,其配气系统由布置在气缸壁上的一组孔道构成,在活塞运动中自动配气,在活塞运动的总行程中,有一段靠压缩空气膨胀作功,在同等压力条件下,其压缩空气消耗量仅为有阀潜孔锤的2/3。

潜孔锤按工作压力分为低压潜孔锤(0.5~0.7MPa)、中压潜孔锤(0.56~1.05MPa)和高压潜孔锤(0.56~2.46MPa),分别适用于不同的工作条件。

**潜孔锤使用要点**

(1)保证工作风压。风压低于规定值时,冲击功和冲击频率明显下降,既不能有效地破碎岩石,又影响岩屑及时排出孔外。

(2)供给足够的风量。供风量的大小应从所用潜孔锤本身的耗风量和排屑所要求的空气上返速度两方面考虑。

(3)选择最优的转速。转速过高,相邻两次冲击造成的凿痕距离过大,其间的岩石不易崩落;转速过低,又不能充分有效地利用冲击功,在岩石性质和冲击频率一定的条件下,应选用最优转速。

(4)施加适当的钻压。以潜孔锤工作时不产生反跳现象为宜。

(5)维持可靠的润滑,以减少活塞和气缸的磨损。

(6)保持气路清洁、畅通。

(7)停止钻进时,不可立即停止供风,以免尚未排出孔外的岩屑落回孔底造成“夹钻”事故。

(郭忠礼)

qiaozhizu

**壳质组 (exinite)** 烟煤和无烟煤的显微组分之一,由高等植物中孢粉外壳、角质层、木栓层等化学性质较稳定的器官、组织,树脂等植物代谢产物以及藻类等所形成的显微组分。英国 C. A. 赛勒(C. A. Seyler)于1932年首次将壳质组用为显微组分术语。褐煤显微组分分类中的稳定组与烟煤和无烟煤分类中壳质组相当。

国际煤岩学委员会规定,稳定组(liptinite)可作为壳质组的同义词使用。稳定组一词1956年由苏联 И. И. 阿莫索夫(И. И. Аммосов)首先提出并被广泛采用,词源来自希腊文的 λεπτος,含剩余的、残留的意思。由于壳质组组分中不仅有孢粉外壳的孢子体,而且还有

化学稳定性强,在泥炭化阶段易于保存的其它组分,因而又名稳定组。

**性质** 在透射光下透明,呈黄到红橙色,轮廓大多清楚,外形特征明显,反光色呈深灰色到灰色,正突起,油浸反光色呈黑色到暗灰色。其反射率在各显微组分中最低,但在煤化过程中增长比共生的镜质组快,因而在镜质组反射率  $R_v$  为 1.30%~1.50% 的煤中,壳质组已难以识别;但在无烟煤中,由于壳质组的强各向异性已超过镜质组,仍可识别。

在低、中煤级烟煤中,壳质组有明显的荧光效应,其荧光特征既是区分某些壳质组组分的主要依据,又是鉴定源岩成熟度和煤级的主要标志。

在各显微组分中,以壳质组的密度最小,可用重液分离法将其富集,其氢含量、挥发分和产烃率最高。在焦化和液化时,壳质组的活性强,固体残渣少。在焦化时,壳质组具粘性,能产生大量的焦油和气体。壳质组富含饱和烃、脂肪酸、萜烯和甾类化合物,是源岩中主要的油源型组分。

**显微组分** 壳质组可分为孢子体、角质体、树脂体、藻类体、荧光体、沥青质体、渗出沥青体、碎屑壳质体等显微组分。在中国烟煤显微组分分类中还有树皮体。

**孢子体(sporinite)** 来自成煤植物的繁殖器官——孢子和花粉的显微组分,又称孢粉体。煤中所见的孢子体主要是孢子的外壁。

各门类孢子植物孢子的大小、外形不同,一般雌性孢子个体大,称为大孢子体;雄性孢子个体小,称为小孢子体。大孢子体一般长度大于 100~200 $\mu\text{m}$ ,呈扁平状,纵切面呈封闭的长环状,折曲处呈钝圆形,有时表面具有瘤状、棒状、刺状等纹饰(参见彩图插页第 4 页 9,第 5 页 14)。小孢子体小于 100 $\mu\text{m}$ ,纵切面多呈扁环状、短条状、蠕虫状或似三角形(参见彩图插页第 4 页 10)。花粉是种子植物的繁殖器官,常见于中、新生代煤中,其形态与小孢子相似,在煤片中难以区别。孢子体可按其壁厚分为厚壁孢子体和薄壁孢子体两种。

孢子体透光色呈浅黄到橙黄色;干物镜反光色呈深灰色,中到高突起;油浸反光色为灰黑色;荧光下具黄、橙黄和褐黄荧光色。

**角质体(cutinite)** 来源于植物叶、嫩枝、幼芽、果实表皮所覆盖的角质层,由植物表皮细胞向外分泌而形成的显微组分。

显微镜下角质体呈细长条带状,外缘平滑,而内缘大多呈锯齿状。按厚度角质体可分为厚角质体和薄角质体两种。薄角质体有时保存在叶肉组织周围,形成叶角质体。

角质体透光色多呈浅黄到橙黄色,受到氧化时,颜色发红;干物镜反光色呈深灰色,中等突起;油浸反光色呈灰黑色;荧光色呈黄到褐黄色。

**树脂体(resinite)** 由成煤植物分泌物树脂或树脂、胶乳、脂肪和蜡质形成的显微组分。

在煤片中,树脂体可呈细胞充填物出现,也可呈圆形、卵形、纺锤形等单体分散出现或集成透镜状、薄层出现。

树脂体透光色浅,多呈淡黄白色、柠檬黄色、黄色;油浸反光色深于孢子体和角质体,近于黑色,有时出现红色、金黄色内反射,一般不显示突起。树脂体的化学组成和物理性质变化范围宽,按其荧光性的不同,常可在同一煤田的煤中分出几种不同的树脂体。

煤中树脂体是一种重要的成油、成气母质。加拿大、澳大利亚等地已发现与树脂体母质有关的石油。中国抚顺第三纪烟煤中树脂体的可溶有机质含量高达 18.3%,有极其丰富的二萜类化合物。

**藻类体(alginate)** 由藻类遗体形成的显微组分。藻类体是腐泥煤和一些油页岩的主要组分。藻类体可细分为结构藻类体和层状藻类体两种亚组分。

**结构藻类体** 来源于群体藻类或厚壁单细胞藻类的显微亚组分。藻类群体在纵切面上呈透镜状、扇形、纺锤形,在水平切面上呈近圆形,轮廓清晰,边缘大多呈齿状,表面呈蜂窝状或海绵状,在荧光下其细微结构更为清晰(参见彩图插页第 5 页 13)。藻类群体大小不一,长 15~500 $\mu\text{m}$ ,宽 10~100 $\mu\text{m}$ 。

结构藻类体的透光色呈柠檬黄色到褐色;油浸反光色比孢子体暗,呈灰黑色到暗黑色,有时具黄色、褐色或红色的内反射;荧光色呈绿黄、柠檬黄、橙黄到褐黄色。

煤中最常见的结构藻类体是皮拉藻(*Pila*),在世界各地石炭纪、二叠纪和侏罗纪的腐泥煤中都有(参见彩图插页第 4 页 12)。在石炭纪、二叠纪和第三纪腐植煤中有轮奇藻(*Reinschia*),其形态特殊,在水平切面上呈中空的环带,边缘呈齿状;在纵切面上,中空部分压实后呈线形(参见彩图插页第 5 页 13)。

结构藻类体也是重要的油源型组分。

**层状藻类体(lamalginate)** 来源于小的单细胞藻或薄壁浮游藻类或底栖藻类群体的显微亚组分。层状藻类体在纵切面上呈微细薄层状,或单独出现,或与其它组分互层,植物内部结构较难辨认。

层状藻类体在透射光下和反射光下难以确认。在荧光下具有弱到中等强度的浅绿、绿黄、黄、橙色荧光,其荧光强度一般弱于结构藻类体而强于沥青质体,可以识别(参见彩图插页第 5 页 13)。据推算,层状藻类

体热解干馏时的油出率比结构藻类体低。

**荧光体 (fluorinite)** M. 泰希缪勒 (M. Teichmüller) 用荧光法研究煤时发现并命名的显微组分。它们由植物分泌的油、脂肪等转化而成, 多分布在有角质体镶边的叶镜质体的细小胞腔内和叶肉组织的间隙中, 呈小透镜体、单油滴状或集合体产出。

在普通油浸反射光下, 荧光体呈黑色, 难以与煤中粘土矿物和空洞相区分; 在蓝光激发照射下, 荧光体以很强的绿黄色到黄色荧光明显区别于树脂体, 红/绿商值 (650nm/500nm) 较孢子体明显偏低。

**沥青质体 (bituminite)** 由藻类、浮游动物、细菌以及一些壳质体等强烈降解产物形成的显微组分。沥青质体呈细小的透镜状、线理状或基质状出现, 大多无定形, 很软, 难以抛光, 在透射光下和反射光下难以确认。荧光下可按其弱荧光、明显的正荧光变化等特征, 与其它壳质组区别。

沥青质体是腐泥煤和富壳质组微亮煤和微暗煤的典型组分, 也是油页岩和其它油源岩中占优势的组分。

**渗出沥青体 (exsudatinite)** 煤化过程中形成的次生显微组分。它们由壳质组及富氢镜质组在沥青化阶段渗出的易流动的次生物质所形成, 多充填在无结构镜质体的裂隙、植物组织和菌类体的空腔及层面裂隙中。透光色呈柠檬黄色、黄色; 油浸反光色呈黑色; 荧光色呈黄色、橙色到红褐色 (参见彩图插页第 5 页 16, 第 7 页 8)。渗出沥青体可作为煤生烃、排烃的良好标志。

**碎屑壳质体 (liptodetrinite)** 又称壳屑体。由壳质组碎屑和细小颗粒组成的显微组分。其粒径一般小于  $2\sim 3\mu\text{m}$ , 以致难以确定其母质。它们也可能是尚未识别的微小藻类和蜡质颗粒。在腐泥煤、微三合煤等煤中, 壳屑体含量丰富。

**木栓质体 (suberinite)** 由栓质化细胞壁形成的显微组分。常见于树皮的木栓组织, 亦见于根、茎和果实的表层。在纵切面上, 木栓细胞为长方形, 呈叠瓦状排列, 细胞壁为木栓质体, 而细胞腔为闭块腐植体 (褐煤中) 或团块腐植体 (烟煤中)。木栓质体透光色呈柠檬黄色、橙色; 油浸反光色呈灰黑色到灰色; 荧光色变化较大, 由亮绿黄色、亮黄色至黄褐色。

**树皮体 (barkinite)** 中国烟煤显微组分分类中由植物皮层组织形成的壳质组显微组分。它们常呈长方形块体产出, 块体内细胞呈叠瓦状排列, 细胞壁和细胞腔大多难分清, 但细胞间隙明显。透光色为柠檬黄色至橙黄色、红色; 油浸反光色呈黑灰色至深灰色、灰色, 微突起; 荧光色呈亮绿黄色、亮黄色到褐黄色。在同一块体内, 各细胞的色调和荧光性往往不同。

中国江西乐平、浙江长兴晚二叠世的树皮残植煤, 即主要由树皮体组成。

### 参考书目

International Handbook of Coal Petrography, International Committee of Coal Petrology, Supplement to the 2nd Edition, Centre National de La Recherche Scientifique, 15, Quai Anatole-France, Paris (7<sup>e</sup>) France, 1971.

E. 斯塔赫等, 《斯塔赫煤岩学教程》, 杨超等译, 煤炭工业出版社, 1990。

(任德昭 张秀仪)

### Qinshui Meition

**沁水煤田 (Qinshui Coalfield)** 中国目前产煤最多的大型石炭二叠纪煤田。它位于山西省中南部, 介于太行山、吕梁山、五台山、中条山之间, 跨太原、寿阳、阳泉、昔阳、和顺、左权、武乡、沁县、长治、高平、晋城、阳城、沁水、安泽、沁源等 20 余市、县, 面积近  $30000\text{km}^2$ 。该煤田范围内已建成阳泉、潞安、晋城等大型矿务局, 地方煤矿在数百处以上 (图 1), 煤炭开发极盛, 是中国无烟煤、化工用煤和炼焦煤最大的供应基地。

**地质构造** 沁水煤田为中生代末形成的构造盆地; 元古界、太古界为盆地基底; 古生界、中生界组成盆地的构造层, 包括震旦系、寒武系、奥陶系下、中统, 石炭系上统, 二叠系, 三叠系及局部残存的侏罗系; 新生界不整合覆盖于盆地之上。盆地最深处奥陶系顶面深约  $2500\text{m}$  (榆社、祁县间)。盆地为不对称宽缓向斜, 东翼缓 (倾角小于  $10^\circ$ ), 西翼稍陡 (倾角  $10^\circ\sim 20^\circ$ ); 轴部通过沁县呈“S”型延伸, 总体为北东向。盆地内部次级褶皱发育, 多为开阔式缓波状, 轴向多呈南—北; 中小型断裂密度不大, 区域性断裂主要集中于盆地边缘, 以正断层为主, 逆断层或逆掩断层少见。除在平定—昔阳间有新生代玄武岩小片分布且对煤层甚少影响外, 煤田内未发现其它火成岩。

**煤系** 沁水煤田的煤系属华北型石炭二叠纪煤系, 含煤地层包括晚石炭世本溪组、太原组及早二叠世山西组、下石盒子组。

**本溪组** 由海陆交替相泥岩、砂质泥岩、粘土岩、石灰岩、褐铁矿层夹煤线组成, 组厚  $10\sim 50\text{m}$ 。

**太原组** 由海陆交替相砂岩、泥岩、石灰岩和煤层组成, 组厚  $50\sim 150\text{m}$ 。一般含煤层  $7\sim 10$  层, 其中  $3\sim 5$  层可采, 可采煤层总厚度  $4\sim 10\text{m}$ , 北厚南薄。

**山西组** 由陆相及滨海相砂岩、泥岩夹煤层及薄层石灰岩组成, 组厚  $40\sim 110\text{m}$ 。含煤层  $3\sim 6$  层, 其中  $2\sim 4$  层可采, 可采煤层总厚度  $2\sim 7\text{m}$ 。



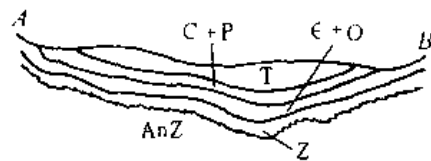
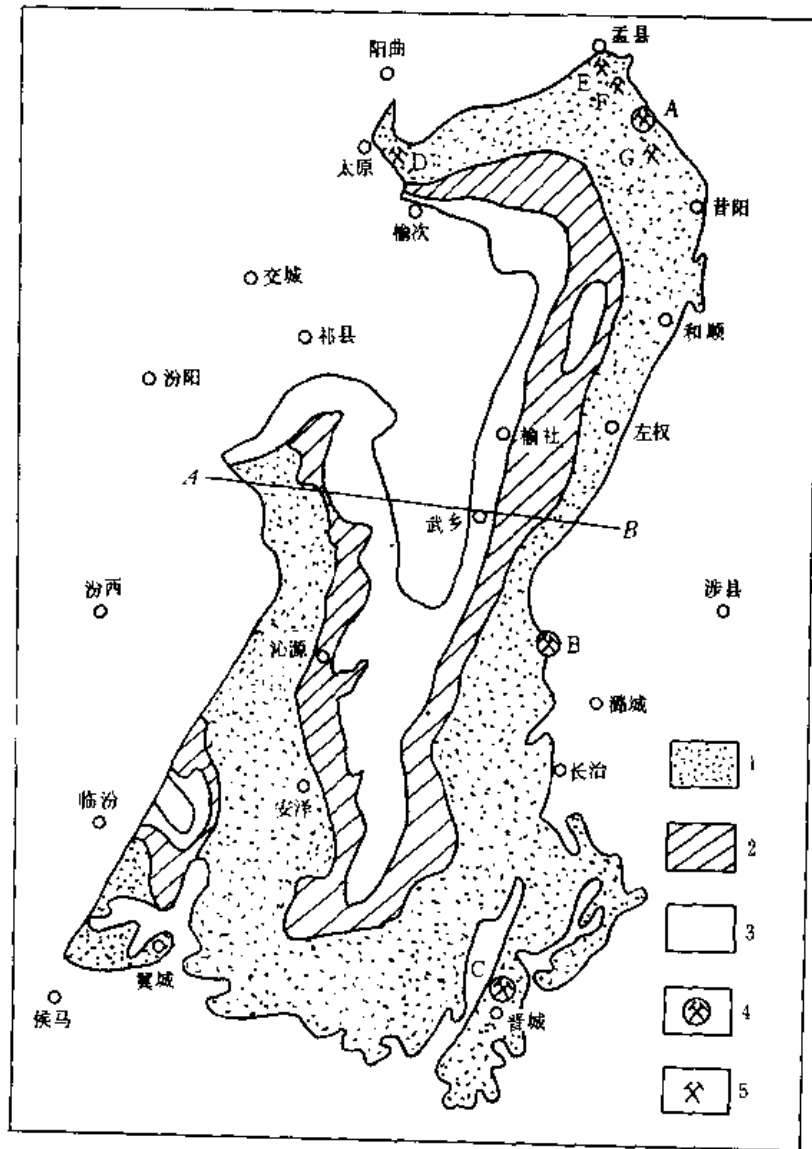


图1 沁水煤田

1—煤系埋深小于 1000m; 2—煤系埋深 1000~1500m; 3—煤系埋深 1500~2000m; 4—矿务局; A 阳泉, B 潞安, C 晋城; 5—重点煤矿; D 东山, E 西庄, F 南营, G 南庄

下石盒子组 由陆相砂岩、泥岩,底部夹煤线 1~2 层组成,组厚 90~214m。

煤系的含煤性及区域变化情况见表 1。

**煤炭资源** 沁水煤田煤炭资源量约 300Gt, 1989 年底已探明煤炭储量 86Gt, 占全国 9.5%。在尚未探明的预测煤炭资源中,绝大部分属可靠级(见煤田预测),

且埋深大部小于 1000m。煤种以无烟煤为主,东、西、北边缘部分的浅部,有少量焦煤、瘦煤和贫煤(图 2),煤田的深部全为无烟煤。煤大部分属中等灰分,低—高硫分,发热量普遍较高。阳泉煤是优等高炉喷粉、烧结用煤;晋城煤是合成氨、氮肥的优质原料;潞安的主焦煤和瘦煤则是优质炼焦配煤。在煤系底部和下部,含多层

表1 沁水煤田各地含煤情况表

| 地 区  | 可采煤层数 | 可采煤层总厚度(m) |
|------|-------|------------|
| 太原东山 | 7     | 31.79      |
| 榆次   | 3     | 6.30       |
| 寿阳   | 6     | 13.59      |
| 盂县   | 3~4   | 3.90~12.11 |
| 晋中榆社 | 6~7   | 11.24      |
| 阳曲晋中 | 5     | 11.79      |
| 晋县   | 4~5   | 13.80      |
| 南襄晋庄 | 3     | 3.47~10.53 |
| 平定   | 4     | 11.90      |
| 晋阳   | 3~4   | 5.90~7.22  |
| 和顺   | 2     | 8.43       |
| 左权   | 2     | 8.18       |
| 武乡   | 1     | 2.98       |
| 襄垣   | 2     | 6.34~6.99  |
| 沁安   | 14    | 13.00      |
| 晋城   | 2~3   | 3.10~3.30  |
| 长治   | 2~4   | 3.20~11.79 |
| 沁子   | 3     | 6.16~8.64  |
| 晋城   | 3     | 10.80      |
| 阳城   | 5     | 11.13      |
| 沁水   | 6     | 11.15      |
| 翼城   | 4     | 11.01      |
| 泽州   | 2     | 2.00       |
| 沁源   | 4~7   | 6.00~9.32  |

黄铁矿,部分区段达工业品位可以提炼硫磺、制造硫酸;煤系下部还含数层铝土岩、粘土岩,可资利用。阳泉生产矿井抽放的煤层甲烷(见煤层气),有良好利用前景,已部分开发。

**开采地质条件** 沁水煤田地质构造条件简单,煤层倾角平缓,矿井小构造不甚发育且赋存规律性很强(中、小型断裂均属正断层),水文地质条件大部分都不复杂,煤田现有矿井地质条件属中国最优越之列。除东北隅阳泉一带煤层瓦斯含量高,部分矿井属高瓦斯矿井和少量为突出矿井外,煤田中其余大部分矿井为低瓦斯矿井。今后随着开采深度加大,瓦斯含量将会逐渐

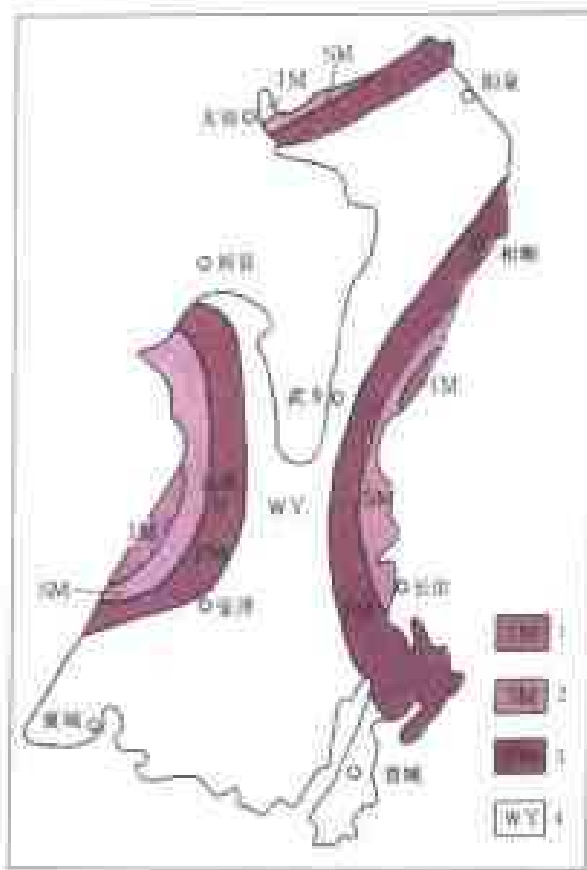


图2 煤种分布图

1—焦煤带;2—瘦煤带;3—贫煤带;4—无烟煤区

增高,瓦斯突出危险性也将增大。煤层均无自然发火现象。

**开发概况** 阳泉、长治、晋城等地,早在明代即有小窑开采,至今已形成三个年产10Mt以上的大型矿区(阳泉、潞安、晋城),在煤田内国营的矿务局和重点煤矿有七处,其能力达36.77Mt,年产量逾40Mt(表2)。加上地方国营和乡镇煤矿,全煤田的年煤产量已逾

表2 沁水煤田现有矿务局与重点  
煤矿产煤能力表

| 矿务局(矿) | 能力(Mt/a) | 矿务局(矿) | 能力(Mt/a) |
|--------|----------|--------|----------|
| 阳泉     | 17.38    | 潞安(矿)  | 1.20     |
| 晋城     | 7.40     | 阳城(矿)  | 0.43     |
| 晋城     | 2.30     | 沁水(矿)  | 0.42     |
| 沁水(矿)  | 1.50     | 合计     | 36.77    |



120Mt。由于开采条件优越、煤质优良、生产成本低、运销条件好,经济效益普遍较高。

(王煦曾)

## qingjiao ceijing

**倾角测井** (dipmeter logging) 又称岩层产状测井,沿钻孔剖面测定岩层倾角与倾向为主要目标的物探方法。其实质是测定岩层面在大地坐标系中的空间位置,据以确定该岩层的产状。钻孔直径较小,可认为钻孔与岩层面的交面是一个平面。只要确定该平面上不少于三个点的位置,便可确定这个层面。煤田测井中常用三臂式岩层产状测量系统,它是用三个互成120°的紧贴孔壁的微电极系,对孔壁作电阻率测量。当三个微电极系分别通过岩层面时,岩层电阻率变化会使测量值发生明显变化,由此可确定层面上三个点的相对深度。再根据孔径数据,就可确定该三个点在仪器坐标系中的位置。同时,测量大地磁场三分量和重力加速度二分量即可将仪器坐标系转换成大地坐标系。因此,三臂式岩层产状测量系统必须同时记录三个微电阻率、孔径、磁场三分量和重力加速度二分量等九个参数。作为附带成果,还可求出钻孔的孔斜顶角与方位角。为提高确定岩层面的精度,可增加微电阻率测量臂的数目或采用微电阻率扫描等措施。煤田勘探钻孔直径较小是增加测量臂数目的重大障碍。目前,煤田测井中有的已使用四臂式测量系统。

根据测井得到的数据来确定岩层产状,需作较繁琐的数学运算,这一般由计算机完成。根据微电阻率曲线,借助相关对比或模式识别等方法,找出与同一岩面对应的各深度点,再配合孔径数据求取在仪器坐标系下的岩层产状。仪器在测井过程中可能发生转动,一般通过三次坐标系旋转运算,可将任何方位的仪器坐标系转换成大地坐标系,进而求出岩层的真实产状。三臂式系统可确定一个平面;多臂式系统通过不同点的组合,可以构成多个平面,在计算中需加以比较鉴别,确定最可能的岩层面,这有助于避免层面上个别点测量不准带来的误差。

倾角测井还可用于地层对比,研究地质构造变化,确定断层、不整合、交错层、砂坝以及分析沉积环境等。有时,还可用以探测孔壁附近岩层裂隙带及其走向与方位。还有助于细致地划分地层。其主要成果图件包括:矢量图、方位频率图、施密特图、杆状图及圆柱面展开图等。

**矢量图** 又称蝌蚪图,以矢量表示钻孔内岩层产状的图件(图1)。图上以带一短直线段的圆点(或圆圈)作为岩层产状成果符号,圆点在图上的纵坐标表示

深度,横坐标表示岩层倾角(常用非线性坐标),其短直线段指向岩层倾向。习惯上还在短直线段上以标箭头或不标箭头表示该成果点计算的可靠程度。

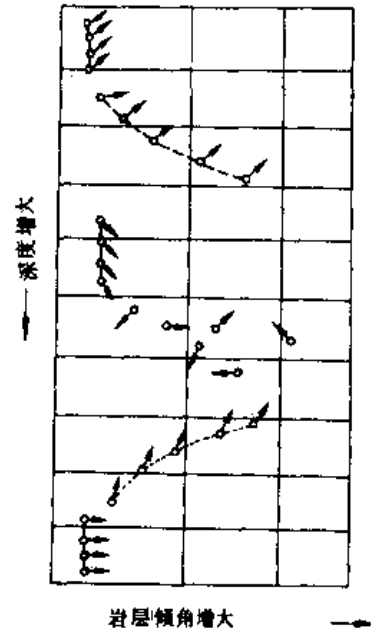


图1 矢量图及其模式

——或绿色;---或红色;.....或蓝色

在矢量图上常以不同颜色线模式或不同线段形式对各岩层产状点的产状变化及其它地质特点进行描述(图1),①以绿色线模式或实线线段将岩层倾角不随深度增大而增大,倾向也相对稳定的点群勾画出来,绿色线模式往往反映区域性构造的倾向与倾角;②以红色线模式或虚线线段将倾向大体不变,倾角随深度增大而增大的点群勾画出来,红色线模式可反映多种地质现象,与其它测井曲线配合可描述断层、褶皱和砂坝、河床沉积以及岩礁等;③蓝色线模式或点线线段将倾向大体一致,倾角随深度增大而减小的点群勾画出来,蓝色线模式可描述沉积环境,包括指示前积层、古水流方向等。此外,一些难以用上述颜色线模式描述的无规律点群,称为杂乱模式,它们往往与断层、破碎带有关。

**方位频率图** 用极坐标表示岩层产状的图件之一(图2)。其极轴垂直向上,表示倾向原点的0°,顺时针方向的极角代表倾向方位角。按一定间隔(通常为10°)进行统计。在全孔或指定孔段对所有岩层的产状成果点进行统计。该图矢径的长短表示在某倾向范围内产状成果点的数目,点数越多,矢径越长。方位频率图可反映钻孔中各岩层的主要倾向。有的方位频率图还可

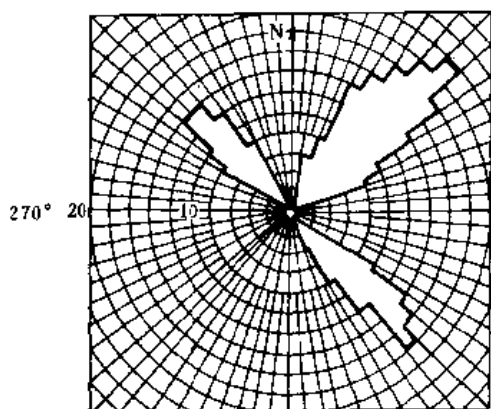


图 2 方位频率图

根据红色线模式或蓝色线模式分别绘制。

**施密特图** 用极坐标表示岩层产状成果的图件之一(图 3)。其极轴垂直向上,表示岩层倾向  $0^\circ$ ,顺时针方向的极角大小表示岩层倾向方位角,其矢径代表岩层倾角。施密特图用若干同心圆代表相同的倾角,习惯上把最外圈的同心圆表示岩层倾角  $0^\circ$ ,越向

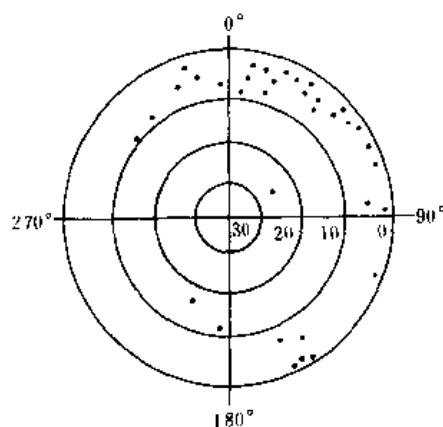


图 3 施密特图

内倾角越大。将全孔或某一孔段的岩层产状成果点按上述坐标标示在该图上,根据成果点的集中趋势,可以反映全孔或某一孔段内岩层的构造倾角与倾向。

(刘家瑾)

## S

sanbian gongzuo

**“三边”工作** (3-multiple working method of exploration procedure)

煤田地质勘探工作中“边勘探施工,边整理研究资料,边调整修改设计”的工作方法和制度。它是中国煤田地质勘探工作者在“一五”、“二五”两个五年计划期间,总结煤田地质勘探实践的基础上创造和发展起来的一项重要经验。

**意义** 煤田地质勘探过程,是对客观地质现象和煤炭资源进行调查研究和逐步认识的探索过程。由于地质现象千变万化、十分复杂,又受研究程度和认识能力的限制,在编制勘探设计时往往有些地质情况和变化因素是很难全部预计到的。因此,必须随着勘探工程施工进展,不断分析研究所获得的地质资料,逐步对客观地质现象取得新的认识,根据新的情况作出新的判断,调整与修改原勘探设计和施工计划。认真、及时地做好地质“三边”工作,对正确指导勘探施工,全面提高煤田地质勘探工作质量,加速勘探进程和降低勘探成本起着积极的作用,并可为及时提交优质地质报告奠定可靠的基础。

**地质资料的整理与研究** 在勘探施工过程中,取全取准各类勘探工程的第一性地质资料和其它技术经济数据,是做好地质“三边”工作的基础。因此,首先要认真、全面、及时、准确地做好原始编录工作,然后逐类、逐项地进行检查与校对。在施工中,对各类勘探工程所获得地质资料和数据及时的整理与研究,是地质“三边”工作的核心。地质资料的编录与整理包括:编制动态类、基础类和专题研究类三个方面的图表。

(1)动态类图表。反映勘探工程施工进度、位置和施工部署等方面的图表。①地质调度图。又分为勘探工程施工图和采样点分布图。勘探工程施工图,以地形地质图或基岩地质图为底图,着重标明各类勘探工程的位置及施工顺序,并以标签注明施工的进展情况和质量情况。采样点分布图,根据勘探设计中采样方案的要求,标上采样点分布,样品种类,化验、测试项目及数量

等,可根据图中采样化验,测试结果,及时对煤质和矿山开采技术条件作出评价,并决定是否调整采样工作量和化验、测试项目。②施工动态表,主要统计施工钻机、孔号、地质目的、设计孔深和终孔层位以及施工进度、孔深、层位和施工情况等。③各类设计工程统计表,主要统计地质,测量,测井,水文地质,采样化验、测试等实际完成工作量或工程量的数量和质量。一般要求每一项工作或工程完成后,便及时上图、上表。

(2)基础类图表。反映勘探区地质情况和煤炭资源情况的主要图表,是指导勘探工程施工和修改勘探设计的依据和编制地质报告有关图件的基础,主要有①基础图件,包括勘探区地形地质图附勘探工程布置图,岩煤层对比图,勘探线剖面图,主要煤层底板等高线图及储量计算图等,随着勘探工程的不断施工,还应及时编制各种原始编录成果图表;②基础附表,在勘探工程施工过程中,逐步编录各类基础表格,保证原始数据的准确与统一,主要有工程测量成果表,钻孔综合成果表,煤层综合成果表,煤样、岩样、水样及其它有益矿产采样化验、测试成果表,水文地质试验、观测和调查表,孔斜计算成果表等。

(3)专题研究类图表。根据勘探区实际情况和勘探工作的需要编制的一些专题性研究图表,包括煤系等厚线图,煤层等厚线图,煤层顶、底板岩性变化图,砂体等厚线图,水文地质控制点与岩性、构造关系图,煤质指标等值线图。

**勘探设计的调整与修改** 随着各种勘探工程的施工进展,在对所获得的大量原始资料和数据及时整理与研究的基础上,应及时对照和检查原勘探设计中规定的各项地质任务是否完成,各项勘探工程是否达到预期的施工目的,发现问题及时进行调整与修改。

(1)单项工程设计的修改。随着各类勘探工程施工的进展而不断进行。

(2)部分工程布置的调整。勘探工程施工过程中,由于地质情况与预想有变化,致使某些勘探工程需要增减或其位置需要调整。

(3) 设计方案的变动。勘探设计都在详细研究工作地区的地质特征和已有的勘探成果以及煤矿设计建设意图的基础上编制,基本设计方案一般不会有重大变动。但是,由于地质现象的复杂性或揭露程度不够或受认识能力的限制,有时可能需要对原有的设计方案进行一些修改。设计方案有重大变动或重新编制勘探设计,必须报省煤田地质局审批。

(许友志)

sanjiaozhou chenji tixi

**三角洲沉积体系** (deltaic depositional systems) 三角洲环境内形成的一套有成因联系的沉

积相组合。三角洲是在河流流入海洋、半封闭海、障壁保护的潟湖以及内陆湖等固定水体处形成的岸线突出部位的沉积。三角洲的概念,早在公元前 400 年,Herodotus 发现尼罗河口冲积平原在形态上象希腊文字母“Δ”(delta)时就产生了。

三角洲一般由范围确定的水系供给沉积物,该水系最终形成一条主干河流。在河口地区,河水进入停滞水体时突然扩展和减速,其所携带的沉积物便被分散和沉积下来。粗粒沉积物堆积在河口附近,而较细的沉积物则呈悬浮状态搬运到岸外,沉积在较深水地区。沉积盆地内水体的作用(如波浪、潮汐和洋流)既有利于河流沉积物的分散,又使之发生改造。三角洲分类,

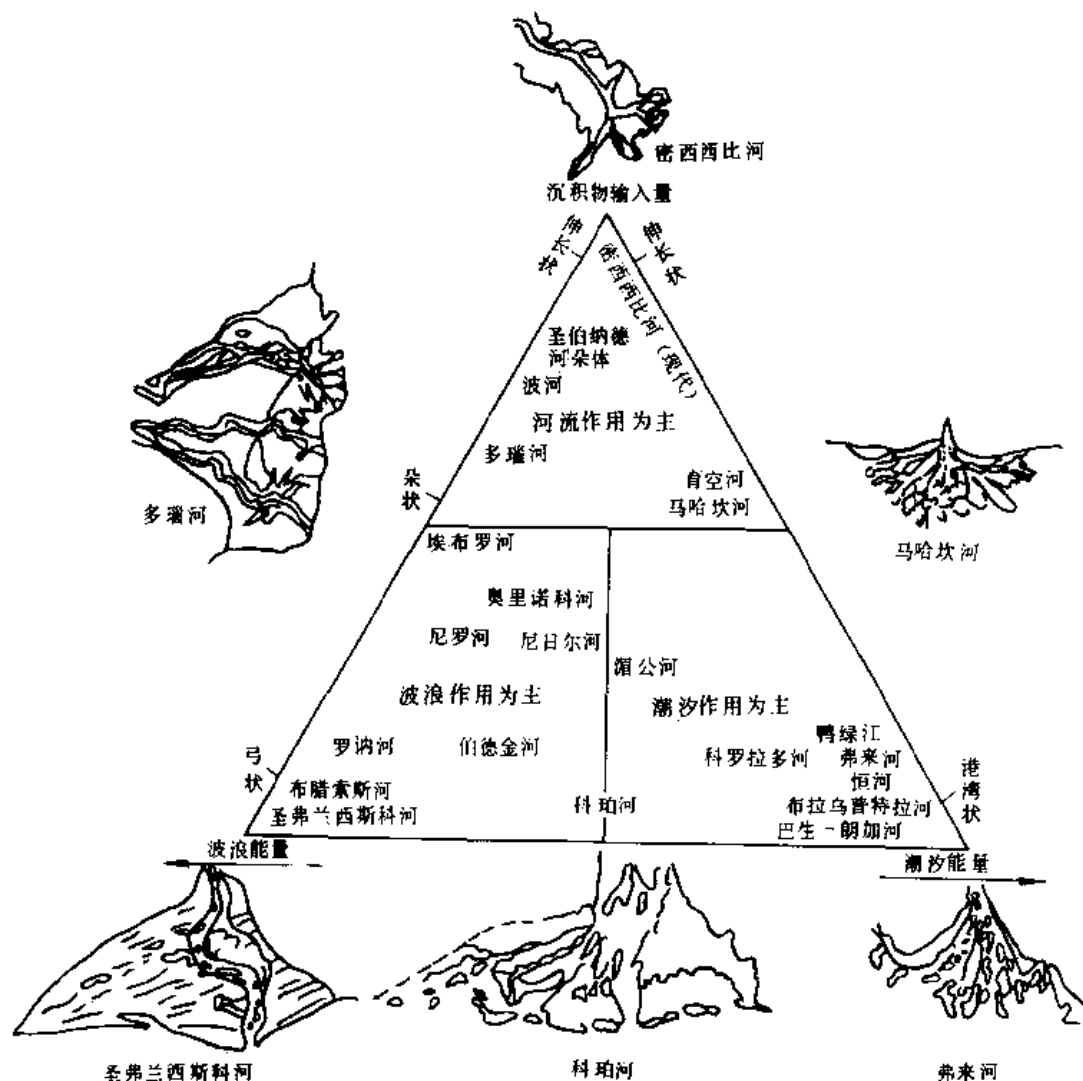


图1 按照主要的沉积作用方式进行的三角洲三端元分类  
(据 Galloway, 1975)

一般以河流和沉积盆地内水体作用的相对强度为依据。Galloway(1975)以三角图解的形式将三角洲分为以河流作用为主的,以波浪作用为主的和以潮汐作用为主的,并把现代一些三角洲性地放置在三角图解的不同部分(图1)。许多研究者以这个分类为基础,通过典型实例的分析,建立了不同类型三角洲的沉积模式,推动了对古代三角洲沉积体系的研究。

**以河流作用为主的三角洲及其沉积特征** 如果波浪、潮汐流和沿岸流弱,河流注入物的堆积速度和数量超过了海水再搬运沉积物和改造三角洲边缘的能力,将发育一种以河流作用为主的沉积环境,出现朝海方向的迅速进积。这种类型又可区分为鸟足状和朵状两种亚型。①当水量稳定并具有较高的悬浮负载时,趋于形成鸟足状三角洲(或称伸长状三角洲);②当水流不稳定并有高的底负载时,趋于形成朵状三角洲,有大量的分流。

三角洲沉积体系由三角洲平原相、三角洲前缘相和前三角洲相组成(图2),在三角洲朵体之间还有三角洲间湾相发育。三角洲平原相可进一步细分为分流河道沉积、天然堤、决口扇沉积、泛滥盆地沉积和分流间湾沉积;三角洲前缘相也可进一步细分为分流河口坝沉积和前缘席状砂沉积。

**三角洲平原相** 在广阔低平的三角洲平原地区,

由活动的和已废弃的河道及河道两侧的天然堤、决口扇和泛滥盆地及分流间湾等亚环境组成。

**分流河道沉积** 具有一般河道沉积的特征,即以砂质为主,向上逐渐变细为粉砂质、泥质。砂层多具大型交错层理,向上层理规模变小。常有侵蚀、切割下部岩层的现象。砂岩体的形态在横剖面上呈凸透镜状,在平面上呈分支形式。

**天然堤沉积** 以粉砂质为主,靠河道处较粗,向外逐渐变细。水平纹理和波浪层状纹理发育,常有泥裂、雨痕等暴露标志和植物根系扰动构造。

**决口扇沉积** 在以河流作用为主的三角洲体系中比较常见,呈朵状的沉积楔由分流河道决口处向外延伸,其厚度逐渐增大,但砂含量和粒度则由决口处向外逐渐减小。

**泛滥盆地沉积** 分流河道间地区广泛发育岸后沼泽,泛滥平原和湖泊沉积物。

**分流间湾沉积** 朝海方向发育为细粒沉积物。

J. C. Ferm 等(1976)将三角洲平原划分为河流—上三角洲平原、下三角洲平原以及它们之间的过渡带。

**河流—上三角洲平原沉积** 以其明显交错层理和冲刷界面的线性伸展的凸透镜状砂岩体占优势。砂岩成分较复杂,粒度向上变细,侧向上与粉砂岩、泥岩及煤等呈舌状交互。上述特征表明其河道为高能河道和

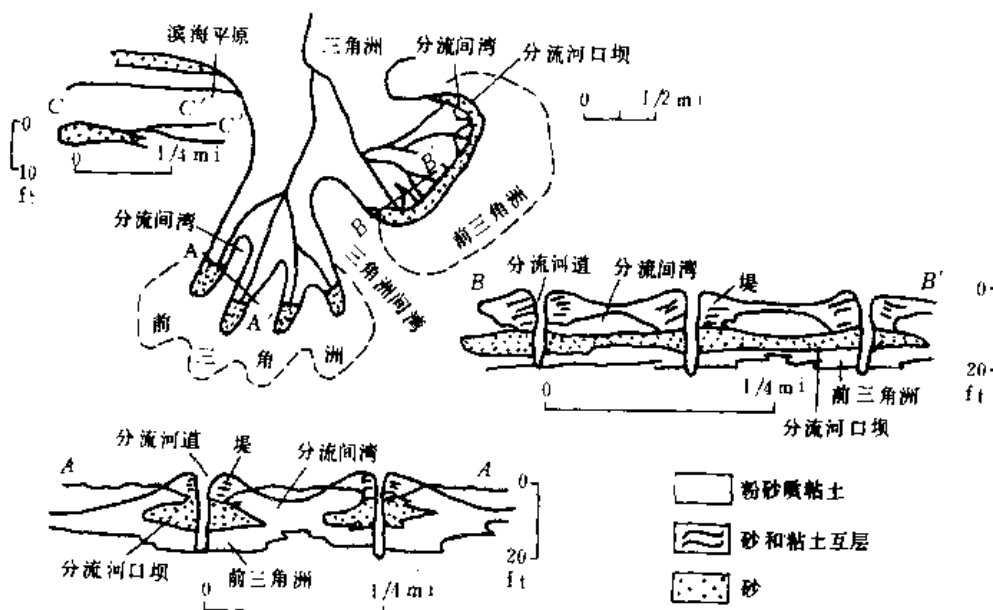


图2 浅水三角洲及邻接的滨海平原  
(据 Donaldson, 1974)



分流河道,并具有明显的侧向迁移。侧向上与堤、岸后沼泽、泛滥平原和湖泊沉积物共生。

**下三角洲平原沉积** 与上三角洲平原的主要区别是河道显著地分支,分流间湾发育。分流间湾沉积以深灰色至黑色泥岩为主,能见到微咸水到接近正常盐度的动物化石。当分流间湾充填到一定程度时,能够生长植物并堆积泥炭。

**过渡带沉积** 上、下三角洲平原之间的过渡带,其沉积特征具有过渡性质。

**三角洲前缘相** 三角洲前缘是三角洲的水下部分,呈环带状分布于三角洲平原向海一侧边缘。其沉积物类型主要是分流河口坝砂和前缘席状砂。

**分流河口坝砂沉积** 河流带来的砂质物质,在河口处因流速降低而堆积形成河口砂坝。砂主要集中在砂坝顶部,沉积速度很快。在河口砂坝方向的末端,沉积情况与近端有所不同,称为远砂坝,这里只有洪水期才有砂堆积,因此颗粒较细,主要由粉砂和少量粘土组成。河口砂坝的形态在平面上多呈长轴方向与河流平行的椭圆形,横剖面上呈近于对称的双凸透镜体。

**前缘席状砂沉积** 广泛分布于三角洲前缘带中。它是河口坝砂受海水作用而重新分布的结果。在海水改造作用强的地方,这种席状砂特别发育,形成沿着三角洲平原前海岸线分布的较宽的条带。砂纯净,分选好。

**前三角洲相** 主要由暗色含有机质并具水平层理的泥质组成,含海相动物化石,但门类很少。向下倾方向过渡到陆棚沉积。在深水三角洲中,前三角洲相的厚度较大,而在浅水三角洲中,前三角洲相的厚度很小。含煤三角洲沉积体系多数是浅水三角洲成因。

以河流作用为主的三角洲的发育,大都经历了建设阶段和破坏阶段。①建设阶段。三角洲不断地从陆地朝海的方向推进。朝海的进积,导致前三角洲泥被三角洲前缘的粉砂和砂覆盖,后者又被以砂质为主的分流河道砂以及河道间的泛滥盆地沉积所覆盖。这样,就形成了大体上为下细上粗但最顶部又变细的垂向沉积层序(图3)。这是以河流作用为主的三角洲沉积的重要标志。这种垂向沉积层序与平面上由陆向海依次出现的环境次序是一致的。②破坏阶段。由于河流改道、袭夺或消亡,沉积物补给减少,三角洲不再向前推进,沉积盆地水体作用增强,在压实和沉降作用的共同影响下,形成破坏相(废弃相)沉积物。一般认为,破坏相就是在已形成的三角洲遭受侵蚀和破坏过程中所形成的薄的海相夹层。破坏相虽然较薄,但其岩性在横向上较稳定,易于对比,三角洲沉积旋回主要靠它来划分。每一个沉积旋回都从建设相开始,而以废弃相告终。三角



| 剖面   | 相                    | 环境解释 |
|--|----------------------|------|
|  | 夹碳质泥岩或煤层的砂泥岩互层       | 沼泽   |
|  | 槽状或板状交错层理砂岩          | 分流河道 |
|  | 含微咸水生物化石和介壳碎屑泥岩      | 分流间湾 |
|  | 楔形交错层理和浪成波痕交错层理纯净砂岩  | 河口砂坝 |
|  | 水平纹理和浪成波痕交错层理粉砂和泥岩互层 | 远砂坝  |
|  | 暗色块状均匀层理和水平纹理泥岩      | 前三角洲 |
|  | 含海生生物化石块状泥岩          | 正常浅海 |

图3 以河流作用为主的三角洲  
沉积的垂向层序  
(据孙永传,1986)

洲沉积体系通常是由多个上述旋回组成的一套沉积体系。

三角洲的建设阶段,在不断向前推进的、广布的三角洲平原分流河道间地带以及三角洲前沿滨岸地带,都可能有聚煤作用发生;在三角洲开始废弃的破坏阶段,废弃的低平三角洲朵叶,为聚煤作用提供了良好的场所。总之,以河流作用为主的三角洲沉积体系是最重要的含煤沉积体系之一。

**波浪作用为主的三角洲及其沉积特征** 在这类三角洲中,其三角洲平原部分由于有沿岸海滩—障壁砂坝的保护而得以免受波浪作用的影响,因而大部分地区仍以河流作用为主,真正受波浪作用控制的仅是三角洲前缘部分。表现在垂向层序上,夹在底部前三角洲泥和顶部三角洲平原沉积之间的是—套海滩—障壁沉积物。以法国罗讷河现代三角洲垂直层序为例(图4),最底部为泥质或粉砂质的前三角洲和陆棚沉积;向上过渡为海滩—障壁砂坝远端部分的泥、粉砂和砂的互层;再向上过渡为海滩—障壁砂坝的主体部分,这是以砂质为主的沉积物,厚度可达10m,其下部为槽状交错层理,上部为低角度的海滩冲流交错层理。这套层序

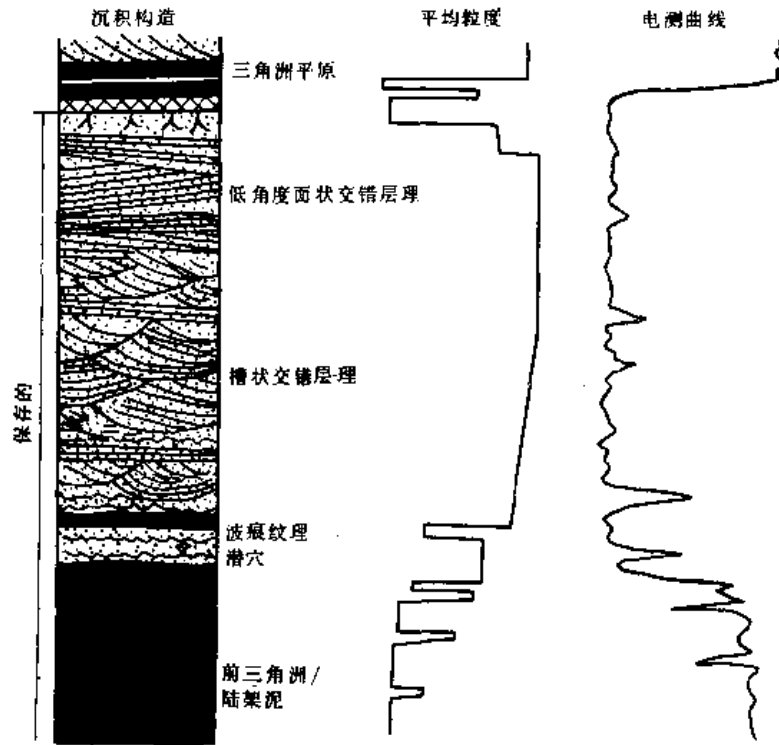


图4 以波浪作用为主的三角洲滨海障壁砂体的垂向层序  
(据 Galloway 等, 1983)

的顶部通常是三角洲平原的沼泽和泥炭沼泽沉积, 有时出现分流河道砂。

以波浪作用为主的含煤三角洲沉积, 其含煤性远比以河流作用为主的三角洲差。煤主要发育在河流上三角洲平原及平行沉积走向、广布的三角洲前缘砂岩 (实际上是已经废弃的老的海滩脊—障壁砂) 之上。

**潮汐作用为主的三角洲及其沉积特征** 随着河口地带潮差的增大, 潮流加强了对分流河口坝的改造, 并导致底负载沉积物的重新分布。与波浪作用不同, 受潮汐影响所发生的搬运基本上是顺沉积倾向的, 即由河口朝海的方向, 分流河口坝被改造成为一系列伸长状的、由河口延伸到水下三角洲前缘台地的砂坝, 即潮汐砂脊。所形成的三角洲呈不规则状或港湾状。潮汐作用不仅影响到三角洲前缘, 也影响到三角洲平原。在具有中—高潮差地区, 潮水在涨潮时侵入分流河道, 溢漫河岸, 淹没附近的分流间湾地区。在潮汐平静时期, 这些潮水就暂时积蓄起来, 然后在落潮时退出去。因此, 在分流河道的下游以潮流为主, 而在分流间湾地区则主要以潮间坪为特征。T. Elliott (1978) 指出: “潮汐作

用为主的三角洲, 其三角洲平原由受潮汐影响 (或控制) 的分流河道序相和潮坪相组成”, “尽管是三角洲背景, 但在这种组合中, 或许除了沉积物供应比较丰富外, 可能没有河流作用的证据。然而在一个进积层序中, 这种组合将覆于潮控或浪控滨线层序之上, 而其本身又被河控上三角洲平原组合所覆盖”。

以潮汐作用为主的三角洲, 其垂向层序也很有特色。其三角洲前缘部分为一向上变粗层序; 下部为扰动构造很发育的泥、粉砂和砂的互层, 与前三角洲沉积物呈渐变关系; 上部为潮汐砂脊及砂脊间由砂质堆积物所形成的通常具双向交错层理、冲刷面及泥盖层的砂层。三角洲平原部分为潮滩和潮道 (或受潮汐流控制的河口湾分流河道) 沉积。潮道或分流河道沉积常具双向交错层理, 底部有冲刷面, 有时可下切到三角洲前缘沉积物中 (图 5)。

关于以潮汐作用为主的含煤三角洲沉积及其聚煤作用, J. M. Coleman 等 (1970) 曾以马来西亚柯兰和格加特河三角洲现代热带泥炭堆积过程为例做了说明。那里, 三角洲前缘砂向上变为潮道和潮滩沉积物。红树林沼泽堆积了富含有机质的粘土, 成为泥炭层

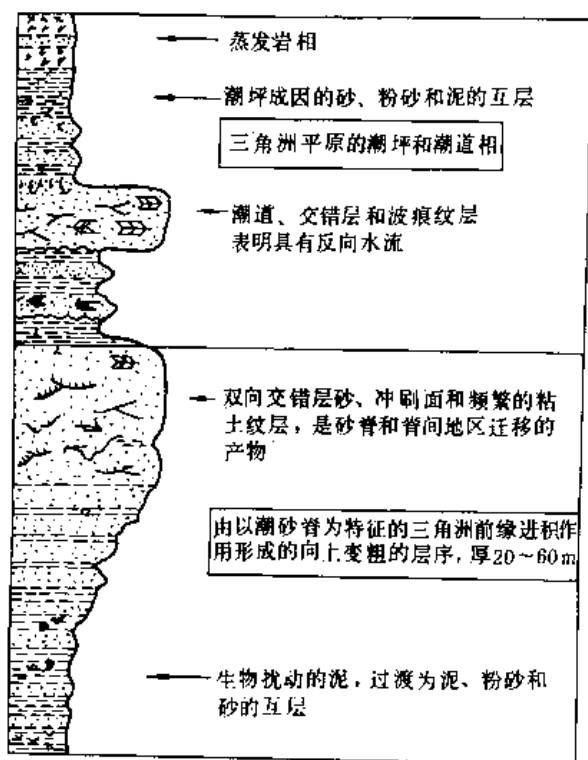


图5 根据奥德河以潮汐作用为主的  
三角洲的综合理想层序

(据 Coleman 等, 1975; 转引自 Elliott, 1978)

的底粘土。泥炭堆积在淡水树沼泽中。

#### 参考书目

T. Elliott, 1978, Delta, In Reading H. G. (Ed) Sedimentary Environments and Facies, Blackwell Scient. Publ. Oxford, 周明鉴等译, 《沉积环境和相》, 科学出版社, 1985。

W. E. Galloway and D. K. Hobday, 1983, Terrigenous Clastic Depositional Systems, Springer-Verlag.

(陈钟惠)

sanwei dizhen kantan

**三维地震勘探** (3-D seismic survey) 在一个面积内同时采集地震数据, 通过三维叠加和偏移处理, 以获得地下地质构造与岩性的三维空间特征的一种地震勘探方法。其原理与常规的二维反射波法地震勘探相同, 只是数据采集不限于二维剖面, 而是在三维空间, 因而可以得到地质构造的立体图象 (参见彩图插页第 42~45 页)。

**沿革** 虽然人们早已认识到三维地震勘探有可能精细地分辨地质构造和岩性, 但由于其数据采集困难、数据量与计算量大、数据处理与解释复杂、勘探成本

高, 因而这种方法的研究工作长期未能开展。20 世纪 70 年代以来, 随着多道数字地震仪及巨型计算机的出现, 数字处理技术的发展, 三维地震勘探才得以逐渐发展, 步入实用阶段。80 年代末, 全世界已有 100 多个含油气区块进行过三维地震勘探。中国 70 年代末开始在江汉油田、伊敏煤田等地区试验这一方法, 现已在大范围内进行试用。

三维地震勘探在研究复杂构造、岩性与含油性的横向变化, 寻找隐蔽油气田, 进行储量计算, 准确确定孔位等工作中, 已取得十分显著的地质效果和经济效益。在德国约有 70% 的煤田地震勘探工作采用三维方法, 它与钻探配合, 可用以划分采区, 合理确定井筒位置, 布置巷道及工作面, 使勘探钻孔密度下降到 0.7~2 个/km<sup>2</sup>, 从而降低勘探成本。山东唐口煤田采用这一方法, 查明了在二维地震勘探中遗漏和未查明的落差 10~15m 的断层及煤层的宏观结构。1994 年, 淮南谢桥矿一采区用高分辨率三维地震勘探, 在查明埋深 400m 以上、落差 5~10m 的断层和断面 3.2×3.8m<sup>2</sup> 的巷道等方面, 取得成功。

80 年代还发展一种网格较稀的“经济三维系统”, 在资料处理阶段通过插值加密网格, 再用通常的三维方法处理与解释。它适用于地表条件较好、地质构造较简单的地区。

**观测系统** 三维地震勘探的震源和接收点不是分布在一条测线上, 而是分布在一个面积上。它按采集数据面积的宽窄, 可分为路线型观测系统 (包括宽线剖面 and 弯曲测线等) 及面积型观测系统 (包括十字相交排列、束状排列、环状排列、树状排列、羽状排列等) 两类 (图 1)。①路线观测系统。震源与接收点沿道路、沟谷的窄带布置采集数据。它适用于水系、河网、黄土冲沟发育及丘陵山区, 农田、森林、城市工业设施及建筑物密布等复杂地表环境。②面积型观测系统。震源与接收点沿一定面积布置采集数据。它适用于地表条件较好, 地质构造复杂而勘探精度要求高 (包括: 油田储集层预测、生产监控、煤矿矿井勘探、生产勘探等) 的地区。

**数据处理与解释** 三维地震勘探数据处理沿用所有常规的二维处理方法, 其成功的关键是静校正、三维速度分析和偏移。

面积型数据采集既要求同时满足空间、时间采样定理, 又要求有足够的覆盖次数, 其数据量大, 能包含纵向和横向全部信息, 允许采用更强的、突出有效波并压制干扰波的各种处理手段; 能更细微地研究速度参数, 更充分可靠地提取静校正值, 消除地形及低速带造成的地震数据的延迟; 更合理地进行偏移, 将地震数据

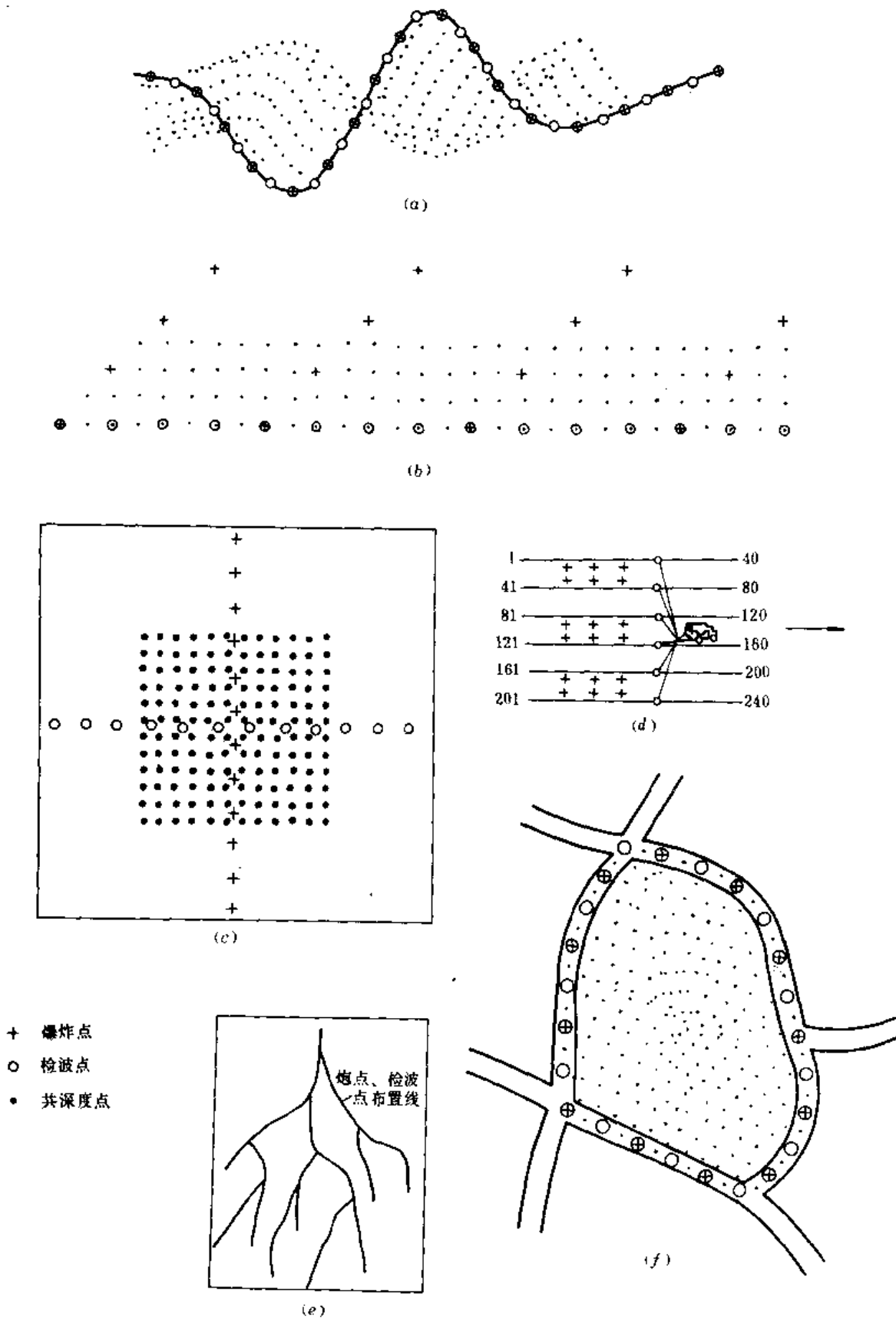


图1 三维地震勘探观测系统  
 a—弯曲测线观测系统；b—宽线剖面观测系统；c—正交（十字）观测系统的一个基本观测网示意图；  
 d—线束型观测系统的一个基本观测网；e—树状观测方式；f—环状观测网

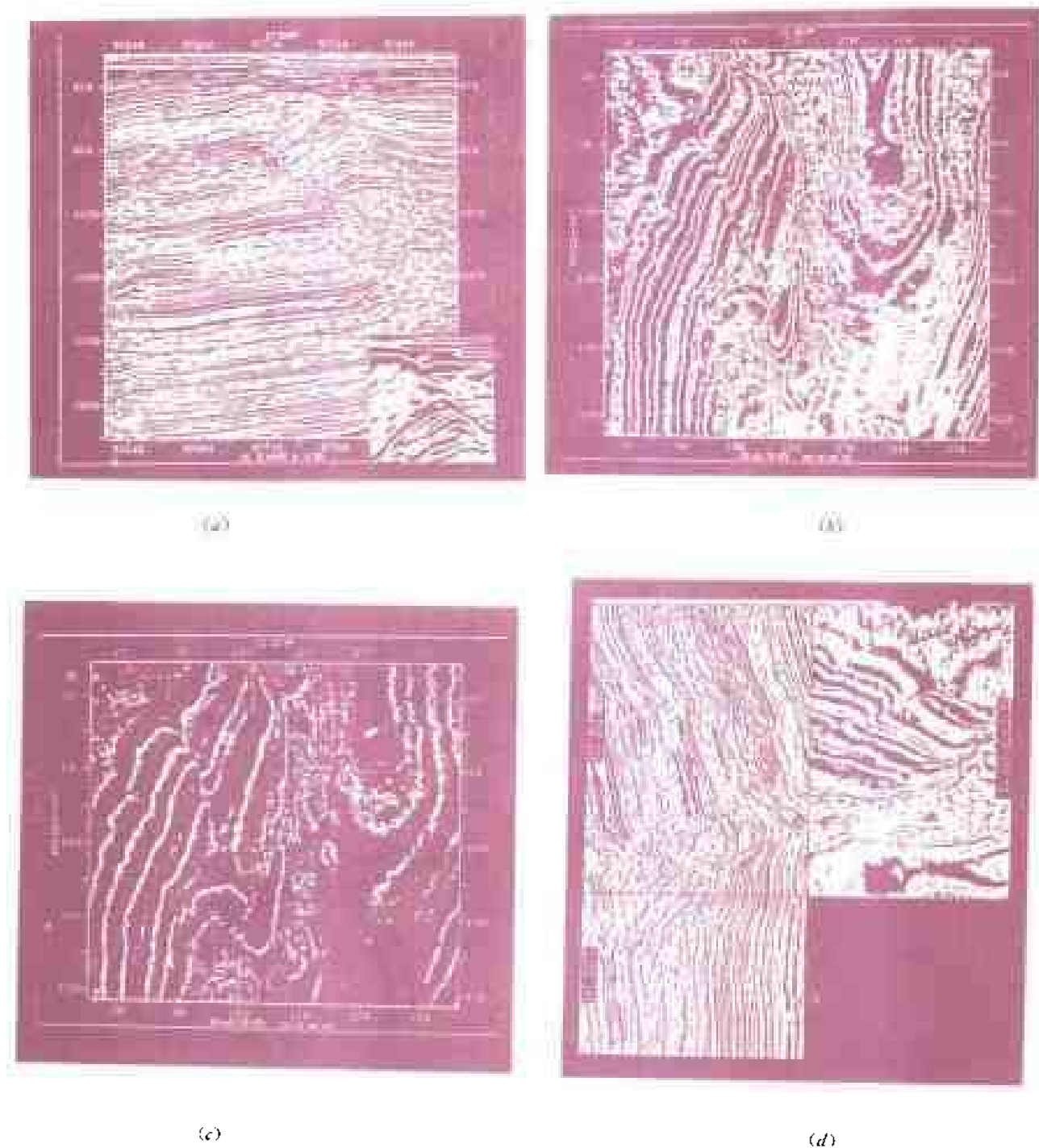


图2 三维数据显示  
a—垂直剖面；b—水平切片；c—瞬时相位水平切片；d—展开显示

归位到正确的空间位置上,清晰聚焦成象,获得高信噪比、高保真度、高分辨率的处理结果。

三维数据处理最终得到的是数据密度相当大的三维空间数据体。通过现代化的人机联作解释工作站,可沿任意方向连续观察三维数据体(称电影显示),或沿任意方向对数据体进行切割,得到垂直剖面图、联井剖

面图、等时切片图(对应某一固定时刻切割三维数据体所得到的平面图形)、层位拉平切片图,或进行立体显示、展开显示图等(图2)。还可以选择最有利的部位和角度观察数据的空间变化,便于快速准确地做出可靠的地质解释。

**三维地震解释工作站** 三维地震资料解释的一套

软件及硬件设备。它具有自动层位追踪、沿断层面滑动层位对齐、构造复原、根据剖面解释数据、自动计算平面等值线等诸多功能,还能绘制成果报告所需的各种剖面图、平面图、等深度图、等厚度图、鸟瞰图及与矿藏有关的各种参数分布图。

### 发展趋势

(1)数据采集使用多道系统。已有可能扩展到512条测线8064道采集系统,其效率更高,成本更低。

(2)数据处理使用超级向量机和并行机。这使很多计算量大而效果更好的新处理方法得以在计算机上实现,提高处理效率和三维成果质量,提高解决地质问题的能力。

(3)三维地震解释工作站将更加完备。将其与地质、测井及其它物探方法结合,向综合工作站方向发展。

(4)三维地震勘探与三分量地震勘探、垂直地震剖面法勘探相结合,形成真正的立体向量地震勘探系统。

### 参考书目

G. H. F. 加德纳等,《三维地震勘探》,吴晖等译,地质出版社,1982。

马在田,《三维地震勘探方法》,石油工业出版社,1989。

(勾精为 刘天放)

## Shangxilixiya Meitian

### 上西里西亚煤田 (Upper Silesia Coalfield)

波兰石炭纪煤田,面积6500km<sup>2</sup>,4/5位于波兰南部的卡托维兹省和克拉科夫省西部,在奥得河与维斯瓦河之间,是波兰最老、硬煤资源最丰富(占全波70%)的煤炭基地。该煤田南部有1/5位于捷克东部,称为俄斯特拉发-卡尔维纳煤田,其煤炭资源仅占整个煤田的10%。

**地质** 上西里西亚煤田是一个向南东方向倾伏的大向斜。晚石炭世含煤岩系直接出露地表的面积约1200km<sup>2</sup>。在煤田中部和南部,含煤岩系倾伏深度达4200m,上覆二叠纪、侏罗纪和新生代地层。

上石炭统的厚度在煤田东部为2500m,在煤田西部达8200m。由下往上分为俄斯特拉发、谢德洛夫和穆利多三个岩组,在地表几乎呈同心圆状分布,每个岩组的厚度向西、向南增大,向东减小。上覆的较年轻地层,除第三系外,一般呈零星分布。

该煤田基本上是在晚石炭世阿斯突里(Asturian)运动期间形成的,向斜西翼具有复杂的褶皱构造,而东翼则较简单。几个时期的岩浆活动导致少数地段的煤遭受微弱的接触变质。

**含煤性** 上西里西亚煤田的煤层和煤线多达520层,总厚度达339m,占含煤岩系最大厚度的4%。含煤岩系和可采煤层的总厚度均由西向东减小。有90~98个可采煤层,总厚度达147m。煤田东部含煤性较差,有35个可采煤层,总厚度达60m,煤层最大厚度24m,列入储量计算的煤层中,厚度小于1.0m的占16%;1.0~4.5m的占69%;大于4.5m的占15%。煤层由东向西逐渐分岔变薄。谢德洛夫组510号煤层在煤田东部厚24m,往西分岔为10多个薄煤层,总厚小于20m。

**煤质** 上西里西亚煤田煤的煤岩成份均一,为半亮型煤和光亮型煤,大部分呈细条带状结构,含少量丝炭。煤层顶部常见有厚数厘米的烛煤薄层,有时整个煤层由烛煤组成。煤田东部的煤中含钍和锆。煤田内煤的变质程度遵循希尔特规律,从西向东,煤的变质程度逐渐降低,不同变质程度的煤呈带状分布。煤种从长焰煤( $V_{ad}$ 为36%~38%)至无烟煤( $V_{ad}$ 为10%~16%)都有,以烟煤为主。适于炼焦的煤占煤田总资源量的50%。开采煤层的平均低位发热量为28.70~32.10MJ/kg。最佳粘结煤的挥发分含量为22%~30%。煤的灰分低,仅为3.0%~8.0%。

**资源** 上西里西亚煤田的硬煤资源量为156.3Gt(计算深度为1800m),占全波硬煤资源量的70%。其中,1000m以浅硬煤资源量为89Gt,A+B+C<sub>1</sub>+C<sub>2</sub>级探明储量54.3Gt,占全波的88%,A+B+C<sub>1</sub>级储量19.5Gt(含炼焦煤59Mt)。

**开采地质条件** 上西里西亚煤田开采地质条件较复杂:煤层厚度不稳定,有煤和瓦斯突出危险,煤层埋藏深,地热条件复杂。开采煤层平均厚2.3m,平均开采深度为550m,最大开采深度超过1000m。多数煤层瓦斯含量高,一般为5~15m<sup>3</sup>/t,易自然发火。尤其是南部的雷布尼克矿区,多为超级瓦斯矿井,深部开采出现冲击地压现象。该煤田矿坑充水强度一般较低,各矿区水文地质条件不一,巷道涌水量介于1~42m<sup>3</sup>/min之间,在含煤岩系上覆巨厚第四系含水层地段,矿井涌水量大。开采水平在500~1250m深的矿区,岩石温度达14~60℃。

**开发概况** 上西里西亚煤田早在1792年即已开始工业性开采,目前年生产能力在200Mt以上,近年来呈下降趋势,1992年烟煤产量为132Mt。该煤田北部为老矿区,其剩余可采储量不多,产量在下降;南部矿区开发较晚,储量丰富,多为优质炼焦煤,是今后重点开发对象。该煤田已发展为波兰最主要的综合性工业区。

(李濂清)



shen zhan gouzao

**伸展构造** (extensional tectonics) 地壳在引张作用下拉伸变薄和断陷而形成的正断层及其分割的断块的构造组合。

大型伸展构造是引张作用施加于整个地壳或岩石圈的结果,可形成规模宏大的大陆裂谷和海洋中脊。著名的东非大陆裂谷长约 5000km;环球规模的海洋中脊长达 40000km。区域性伸展构造是由正断层所切割的块断构造,常以盆—岭构造样式显示地壳的水平伸展。美国西部的盆岭省地壳伸展达 170km,伸展量约 35%;中国东部渤海盆地,沿北西—南东向剖面拉张距离可达 47km,伸展量约 20%。伸展作用所形成的各种断陷盆地,提供了煤、油气和层控矿床的聚积场所。

近代地质和地球物理勘探资料表明,在伸展构造区,广泛发育有不同规模、不同层次的缓倾角正断层,并用以解释不对称断陷盆地的构造格架 (Wernicke, 1981; Gibbs, 1983)。

**结构要素** 伸展构造由正断层及其分割的不同规模、不同形态的断块组成。断层面形态呈板状或铲状。铲状断层的断层面在垂向剖面上呈弧形,向深部倾角变缓,最后常归并于底部滑脱面;断层面在平面上常呈弧形或折线状,分支、合并,构成断裂网络。具有不同

功能和产状的走向旋转正断层、缓倾角滑脱正断层和横向传递断层 (transfer fault) 所构成的断裂系,往往是控制拉伸盆地和裂谷盆地的基本构造格架 (图 1)。

**构造样式** 同时形成的正断层常常成组出现,并构成一定的组合样式。其最突出的表现形式是不同规模和形态的断陷盆地,主要包括地堑、半地堑、伸展滑脱半地堑系、裂谷和拉伸断陷煤盆地。

**地堑** 由大致平行、相向倾斜的正断层或断层系组成,断层之间为共同的下降盘。地堑可形成狭长的洼地和沉积盆地,西欧的菜茵地堑和中国的汾渭地堑即是。大型地堑常沿隆起带的脊部发育,地壳表层裂陷和深部地幔隆起呈镜像反映 (图 2a)。

**半地堑** 由正断层和掀斜断块组成的断陷,掀斜断块沿断层面向旋转滑落,盆地充填与块体旋转同步,形成箕状沉积盆地,中国东部的一些中生代含油、含煤沉积盆地即是。同向倾斜的正断层系反映了岩体沿深部滑脱层伸展作用的过程。新生的正断层,切割产状变缓的先期正断层,可形成不同的构造层次和半地堑盆地系列 (图 2b)。

**伸展滑脱半地堑系** 由大型缓倾角滑脱正断层形成的半地堑系,其底滑脱断层从高位脆性剪切,向深部延伸转化为韧性剪切带,底滑脱断层的上盘被一系

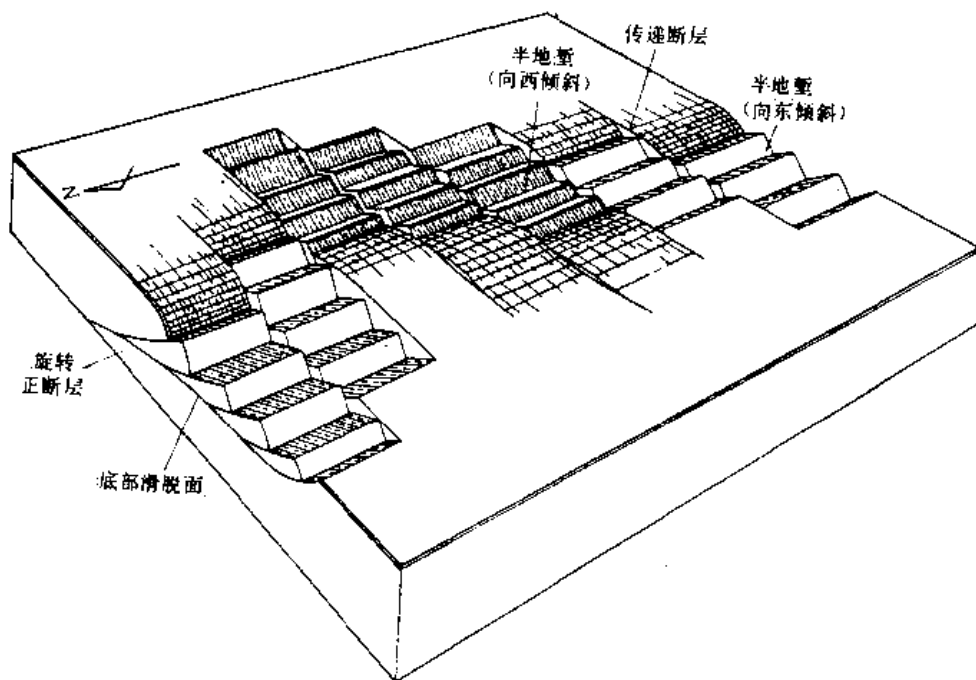


图1 伸展滑脱断裂和半地堑系



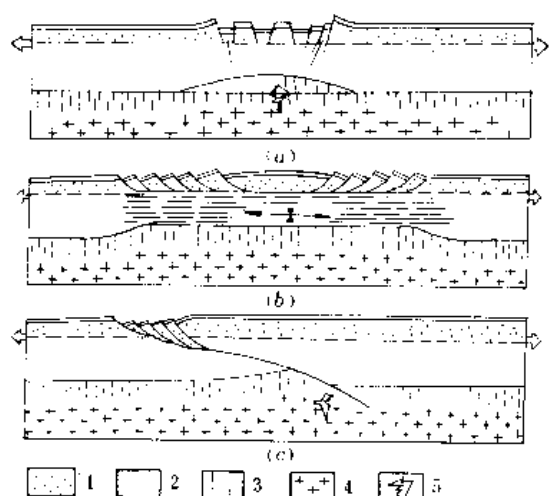


图2 大陆伸展作用的三种构造模式

1—脆性上地壳；2—塑性下地壳；3—上地幔；  
4—软流圈；5—岩浆

列面状或铲状旋转正断层所切割，向下并入主滑脱断面，二者同向倾斜，美国西部盆岭省和澳大利亚东南沿海的一些新生代沉积盆地即是（图2c）。

**裂谷 (rift valley)** 巨型复杂地堑、半地堑系。它是火山活动带、浅源地震带和高温流带。裂陷期伴生的

岩墙群也是地壳伸展的一种重要标志。中国东部下辽河断陷的拉斑玄武岩充填于断裂带中，其最大累积厚度近 2000m。

**拉伸断陷煤盆地** 伸展作用形成区域断裂网络并引起断块垂向陷落而形成的含煤沉积盆地。盆地基底断裂包括走向正断层系和横向断裂。①盆缘主干断裂面倾向盆地内部，沿其前缘出现粗碎屑冲积扇带，盆地充填岩性地层单元向盆缘断裂倾斜和增厚，断裂活动态势决定了盆地充填的时、空演化。②盆地内部走向正断层与盆缘主干断裂构成同向或反向倾斜的断裂系，将盆地基底切割为次级走向隆脊和槽地，形成多个沉积中心。③横向断裂具有调整功能，调整走向正断层倾向、倾角、间隔和断距的差异，将盆地沿走向分隔为具有不同沉积—构造特征的区段。这种基底断裂格架控制了沉积体系配置、岩性岩相和厚度分布。

中国东北和内蒙古东部分布着上百个孤立的晚中生代断陷煤盆地，并依一定方向和方式构成规模宏大的盆地系，以盆地的特殊构造模式表现出地壳的巨大水平伸展和陆内裂陷作用。煤盆地的构造样式以半地堑为主，这种构造不对称性决定了煤盆地地层格架、煤体形态和厚度的变化趋势（图3）。

**煤田伸展构造** 伸展地区的煤田构造以各种规模（尺度）的正断层为构造骨架，组成地堑、地垒、阶梯状断层和抬斜断块，含煤地层主要保存于下落断块单元。

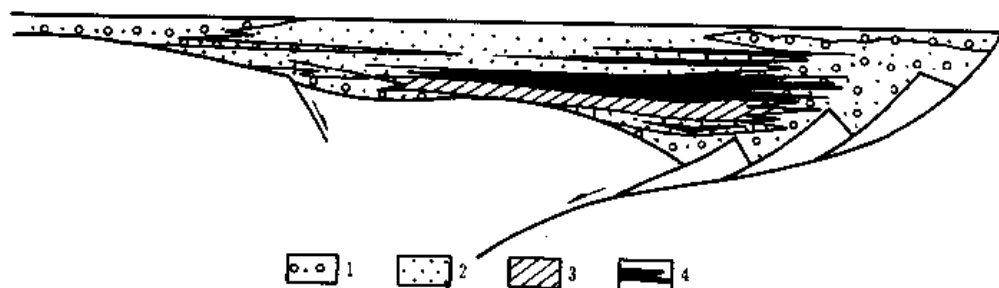


图3 中国东北地区晚中生代煤盆地沉积—构造模式

1—盆缘洪积—冲积相粗碎屑岩带；2—冲积—湖泊相碎屑岩系；3—深湖相泥岩；4—含煤层组

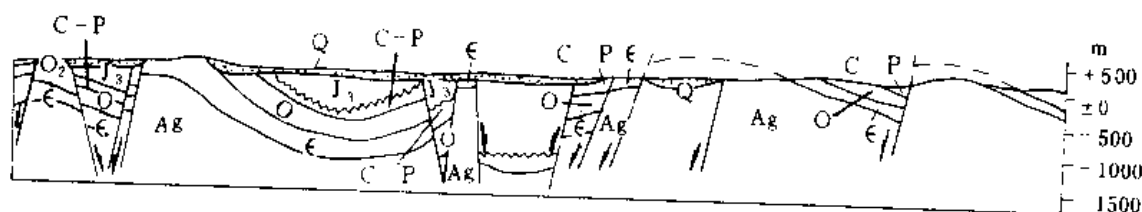


图4 中国山东西南部煤田构造剖面简图

中国东部山东、河北、山西广泛发育煤田伸展构造。鲁西南煤田南北向和东西向区域正断层组成基本构造格架,并作为煤田、煤矿区的边界构造,其内部又被不同规模和方向的正断层分割为次级断块,组成地堑或阶梯状断层系,是影响矿井生产的主要地质因素(图4)。

传统大陆岩石圈伸展构造理论强调垂向运动机制,认为裂谷盆地主要是由陡倾斜正断层切割的断块所构成的地堑。近年来,人们普遍认识到大规模水平拉伸作用的重要性,不对称伸展滑脱构造模式得到越来越广泛的采用,并用以解释大陆裂谷和大陆边缘的演化。

### 参考书目

J. G. 兰姆塞, M. I. 胡伯,《现代构造地质学方法》,徐树桐等译,地质出版社,1991。

M. 马托埃,《地壳变形》,孙坦、张道安译,地质出版社,1984。

(任文志)

### shengbo cejing

**声波测井** (acoustic logging) 测量钻孔剖面岩石声学特性的测井方法。岩石的主要声学特性包括岩石中声波传播速度、声波在岩石中的衰减特征以及频率变化等。声波测井是20世纪50年代发展起来的,现在已和电测井、放射性测井一起构成了测井方法的三大系列。应用声波测井可以有效地划分岩层、识别岩性;确定岩层孔隙度;寻找碳酸盐岩岩石中的裂隙和喀斯特溶洞;配合 $\gamma$ - $\gamma$ 测井计算岩石力学性质参数;为地震勘探提供岩石声波传播速度资料和为人工合成地震记录提供基础数据。

声波测井主要可分为以测量岩层中声波传播速度的声速测井;测量岩层中声波幅度衰减情况的声幅测井;把声源震动的波形完整地记录下来的声波全波列测井以及利用声束沿孔壁环行扫描获得反射波幅成象的超声成象测井(声波电视测井)。

为提高声波测井的可靠性和精度,扩大其地质应用领域,声波全波列测井越来越受到重视。它可提取有关纵波、横波和其它波的多种信息。此外,多发射器、多接收器组合的阵列声波测井也在积极发展中。

煤层中声波传播速度较慢,声幅衰减较大,可区别于其它岩石。

**声速测井** 又称声波时差测井,测量声波在钻孔岩层中旅行一段距离所需时间的一种声波测井方法。它是一种应用最广泛、使用最早的声波测井方法,主要

用以提供岩石的纵波传播速度信息。

声速测井的孔中探测装置主要由声发射器和声接收器组成。它们大多利用压电晶体或磁致伸缩换能器完成电声和声电转换。根据发射器和接收器的数量和排列方式,孔中探测装置可分为单发射单接收、单发射双接收、双发射双接收以及双发射四接收等多种类型。

**单发射单接收声速测井** 孔中探测装置由一个发射器和一个接收器组成的声速测井方法(图1)。当发射器T发射声波脉冲后,声波向四周传播,但由于发射器T与接收器R之间安置有隔声体,声波难以直接从探管内部传播到接收器R,从而①成为经冲洗液传播的直达波;②成为经孔壁岩层反射的反射波;③声波进入孔壁岩层的入射角等于临界角,在岩层内滑行一段距离 $b$ 后又折回孔中的折射波;④进入孔壁岩层后被岩层吸收。其中,直达波与反射波在冲洗液中传播,折射波有一部分在岩石中传播。由于声波在岩石中的传播速度总大于在冲洗液中的传播速度,因而当源距足够大时,折射波首先到达接收器,直达波与反射波则后续到达。首先到达接收器的波称首波。从发射时间 $t_0$ 开始到接收首波的时间 $t$ ,有以下关系:

$$t - t_0 = \frac{2a}{V_1} + \frac{b}{V_2}$$

式中 $V_1$ 和 $V_2$ 为冲洗液和岩层中的纵波传播速度, m/s;  $a$ 和 $b$ 为声波在冲洗液和岩层中传播的距离。

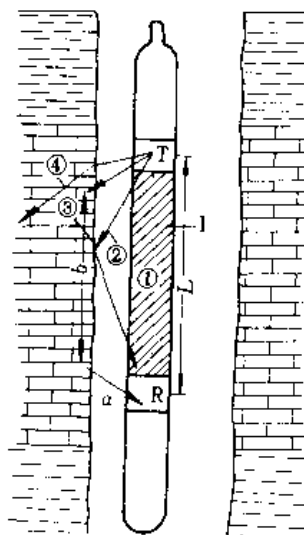


图1 单发射单接收声速测井原理图

T—发射器; R—接收器; I—隔声体; L—源距;  
 $a$ —声波在冲洗液中传播距离;  $b$ —声波在岩层中传播距离

在已知冲洗液中声速  $V_1$  的情况下,可算出岩层中声速  $V_2$ 。由于  $a$ 、 $b$  值难以精确确定,其计算精度较差。

**单发射双接收声速测井** 孔中探测装置由一个发射器和两个接收器组成的声速测井方法。在发射器  $T$  同一侧不同距离上安置的两个接收器  $R_1$  与  $R_2$ , 接收首波的时间分别为  $t_1$  与  $t_2$ , 记录其时间差  $\Delta t$  (时差)。它是由于声波在岩层中滑行的距离不同造成的:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{L}{V_2}$$

式中  $L$  为接收器  $R_1$  与  $R_2$  的间距, m;  $V_2$  为岩层中纵波速度, m/s。

由上式可较准确地计算岩层中的纵波速度  $V_2$ 。目前,单发射双接收声速测井已基本上取代单发射单接收声速测井。

为防止孔中探测装置因与孔壁碰撞或摩擦而产生干扰声波,一般用胶棒等物质作成扶正器,安置在探管上、下两端,使其在孔内保持居中。

**双发射双(或四)接收声速测井** 又称补偿声速测井,孔中探测装置由两个发射器、两个(或四个)接收器组成的声波测井方法。在两个(或四个)接收器两侧相等距离上各安置一个发射器,记录接收器分别收到上、下发射器首波时差的平均值,这可减小或消除由于孔径变化造成的单发射双接收速度计算误差。当使用数字式仪器时,可通过计算机软件对单发射双接收测量结果进行补偿,以代替较复杂的双发射双接收测量方式。

在正常情况下,两个接收器接收的首波时差能反映岩石中声波传播速度,但在严重吸收声波的软岩(土)层中,首波能量很快衰减,它只能触发靠近发射器的第一接收器,而较远的第二接收器只能接收首波后的第二个波。这时,记录的时差会突然增大,且增大的时间正是所发射声波的一个周期,这种现象称为周波跳跃。利用周波跳跃,可以辅助识别钻孔中岩层的裂隙带、破碎带、风化带以及含气层等。

**声幅测井** 记录声波在钻孔岩层中传播时振幅变化的声波测井方法。通常它与声速测井同时进行,记录接收器收到的首波的波幅。由于声波在岩层中传播时能量会有所衰减,当岩石中存在裂隙或气体时,能量衰减剧烈,因而记录到的声幅明显降低,可借以用来识别孔内岩层裂隙带或含气层。声波在煤层中传播衰减较大,特别是褐煤和泥炭,能较多吸收声波的能量,在声幅测井曲线上呈现低幅度。

声幅测井还可在置有套管的钻孔内测量套管与孔壁间水泥固结情况:当套管与孔壁间没有水泥或固结

不好时,声波沿套管传播能量损失很小,大部能量反射回接收器;而当套管外水泥固结良好时,声波大部分能量会传到水泥,致使收到的声幅降低。这种声幅测井又称水泥胶结测井。

**声波全波列测井** 记录钻孔内接收器接收到的每个声波脉冲产生的全部波形的声波测井。钻孔内探测装置的发射器发射的声波,经冲洗液传播到岩层后,会发生波的转换,在岩层中传播的既有纵波(P波),又有横波(S波),还有沿界面传播的斯通利波(Stoneley wave,简称ST波)与管道波等。这些波以不同速度在岩层中传播,再通过冲洗液激发接收器振动。它们激发接收器振动的时间有差异:通常P波首先到达接收器,接着是S波,最后是ST波。将整个波形按时间序列记录下来,就得到声波全波列图(图2)。从全波列信号中可提取纵波、横波、斯通利波等信息,用来识别岩性,研究岩石的孔隙度、裂隙和计算岩石的动态弹性系数。

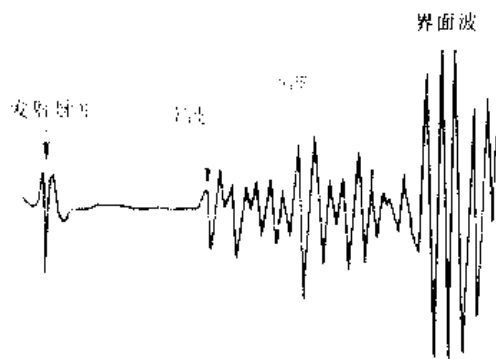


图2 声波全波列图

煤田地质勘探中所用的声波全波列测井源距较小,横波信息常混杂在未完全结束振动的纵波信号中,较难识别。目前发展了多种数学方法进行波形分离和识别,用以准确确定横波到达时间。

声波全波列测井通常以波形图或变密度图显示。波形图表示的是接收器收到的波形的相对幅度沿深度的变化情况。变密度图表示的是由波形幅度调制成的用直线显示的不同灰度沿深度的变化情况,负幅度用最亮的白线表示,正幅度则用相应的灰度表示,最大正幅度的灰度最深。

**阵列声波测井** 由多个发射器和多个接收器组成阵列形式的一种全波列测井方法。它应用专门的硬、软件,使信息量增大,动态范围扩大,灵敏度提高。其资料在确定岩石力学性质参数,估算岩石强度,计算岩层渗透率,鉴别岩性和含气层,探测岩石裂隙,制作纵横波合成地震图以及与地震数据对比等方面的可靠性和

精度都有明显提高。

**超声成像测井** 又称声波电视测井,以声束环形扫描钻孔孔壁岩层,获得反射波波幅灰度图象的声波测井方法。探管内放置一个能射出窄束超声波的换能器,测井时换能器沿钻孔孔轴(探管轴)旋转,不断发射超声脉冲,接收器接收其孔壁岩层反射波。在换能器旋转一周,对孔壁岩层进行环形扫描的同时,将其反射波的幅度在地面调制成为不同的灰度,在屏幕上显示和记录,从而获得某一深度的孔壁岩层图象。不断改变换能器的深度,即可获得不同深度孔壁岩层的连续图象。不同岩层对超声波反射波形成的灰度不同,因而其图象亦不同。仪器同时测量孔径,以补偿声波传播路径造成的衰减。不同倾角的岩层界面,在图象上展示不同的形态;水平岩层界面的图象为一直线;倾斜岩层界面的图象为一正弦曲线。根据仪器定位信号和孔斜信息,根据正弦曲线的相位和幅度可以得出岩层的产状(倾角与倾向)。超声成像测井还可用来研究岩层的裂隙发育特征及裂隙产状,并可在安有套管的钻孔内探测套管的空洞、破损和腐蚀情况。

(刘家瑾)

shengsuo quxin zuanjin

**绳索取心钻进** (wireline core drilling) 在钻进过程中,以不提钻方式,利用绳索打捞装置从钻杆内孔将所钻得的岩心提出钻孔的钻进方法。它须配备专用的绳索取心钻具和绳索绞车,作为取心通道的专用钻杆,其内孔应较大且平整。

**特点** 绳索取心钻进方法的使用前提是,钻头使用寿命较长。其特点是可免除为提取岩心而升降钻具所占用的辅助时间,使钻进效率大幅度提高。虽因绳索取心钻头的壁厚较普通双管钻头大,在孔底切削岩石的面积大,纯钻进时间内的机械钻速略低于后者,但由于配用长寿命钻头后,提钻次数大幅度减少,仍可使台月钻探效率提高,钻孔越深其效果越明显。提钻次数减少,还可减少钻头和钻杆上连接螺纹的磨损;减少钻头与孔壁的碰撞及钻进前的扫孔次数,加之其钻杆直径大,与孔壁间隙小,钻进时钻头工作较平稳,可延长钻头寿命;孔壁裸露时间缩短,升降钻具对孔壁的破坏作用减小,有利于在复杂岩层钻进;钻机升降系统的磨损和动力消耗减少,操作人员的劳动强度减轻;效率提高、消耗降低,导致钻探成本下降。此外,用绳索取心钻具打捞岩心速度快,发生岩心堵塞后可立即处理,减少岩心损耗;对难采取岩心的岩层可及时换用三层管钻具以提高岩心采取率;可在不提钻的情况下,在个别孔段改用无岩心钻进或进行护孔堵漏。因此,采用绳索

取心钻进方法有利于实现岩心钻探的安全、高效、优质、低耗。但另一方面,绳索取心钻杆管壁薄,连接螺纹精度要求高,加工难度大;钻杆柱与孔壁间隙小,冲洗液循环阻力增大;对冲洗液的质量要求较高,固相含量要少,以免在钻杆内壁结泥皮,影响内管及打捞器通过。为充分发挥绳索取心钻进的优越性,通常须配用高效长寿命的金刚石钻头。

**钻具结构及功能** 绳索取心钻具由绳索取心器和绳索打捞器两大部分组成。虽然现有产品的类型较多,但其基本工作原理是相同的。

**绳索取心器** 又称双管总成,钻进时外管转动而内管不转动,由外管钻取岩心,内管容纳岩心。与普通单动双管岩心采取器不同,绳索取心器的内管可以沿钻杆内孔提出或下入,结构要复杂得多。绳索取心器按功能可以细分为八个单元,①限位及定位机构,当内管由钻杆内孔下入达到外管中的预定位置时,内管的悬挂环落在外管的座环上,使内管下端的卡簧座与外管下端钻头的内台阶保持一定的间隙,实现限位,同时,内管上部的弹卡在弹簧作用下插入外管内壁的沟槽中,实现定位,防止内管在钻进时向上窜动;②扶正机构,在外管的下部设有扶正环,使内管的卡簧座与钻头内孔对正,保证岩心顺利进入内管,并减小卡簧座的磨损,在钻进斜孔及破碎岩层时,其作用更明显;③间隙调节机构,用于调节内、外管的长度配合,保证内管下端与钻头内台阶之间有适当的间隙,间隙过小冲洗液流动不畅,间隙过大会使岩心受到冲刷或形成较长的残留岩心,降低岩心采取率;④单动机构,在内管的中部设一组滚动轴承,将内管分为上、下两部分,使上部的限位、定位等机构与外管一起旋转,以避免机件磨损,而下部容纳岩心的部分在钻进时不转动,减小对岩心的破坏;⑤到位报信机构,起限位作用的悬挂环与座环接触后,冲洗液的通道被阻断,泵压升高,顶开一个专设的阀门,在较高的泵压下恢复冲洗液的循环,利用这一泵压的变化可以实现内管到位报信,以防内管未到位即开始钻进,或者盲目等待内管到位而耽误工作时间。在提升内管时,如上部液柱压力超过阀门开启压力,冲洗液又可经此阀下泄,减小提升阻力和抽吸作用;⑥岩心堵塞报信机构,当发生岩心堵塞或内管充满岩心时,内管受到向上的顶力,使中部专设的弹性元件受压变形,并使冲洗液流动受阻,泵压升高,以此作为信号可使操作人员及时停钻打捞内管,防止岩心磨损;⑦缓冲机构,在卡取岩心时,缓冲机构中的弹簧在提断力作用下收缩,内管下部下降,卡簧座落在钻头内台阶上,使提断力的大部分由壁厚较大的外管承受,以保护内管免受破坏;⑧打捞头机构,位于内管最上端,在提

断岩心后,下入绳索打捞器,抓住打捞头上提,使弹卡收回,即可提出内管。

**绳索打捞器** 又称打捞器总成,在正常情况下只用来捞取内管总成,但在发生孔内漏失导致钻孔中无水时,还用它把内管总成送下去,避免因自由下落速度过高而碰坏内管。按功能划分,绳索打捞器由五部分组成,①提引机构,用来与绳索连接,其中有一盘止推轴承,用以防止打捞器在提放过程中随绳索的扭转而转动;②捕捞机构,用以抓住内管总成的打捞头,当打捞头为矛形时,捕捞机构设一对打捞钩(有些产品的结构与此相反),打捞器以一定速度下落到内管总成上,打捞钩在重力和冲力作用下被矛头冲开,待打捞器继续下落到矛头的颈部时,弹簧又使打捞钩收拢,将矛头卡住;③配重,用以加大打捞器的下落速度,并保证一定的冲力,使打捞钩可靠地抓住打捞头;④脱卡机构,通常为侧面开有倾斜贯通切口的钢管,绳索可由此切口进出,当内管被卡住,用绳索提拉不动时,可在地面将此管套在绳索上投入孔内,此管内径较大,可越过提引机构和配重,套住打捞钩尾部,使之收拢,前端钩头张开,松开打捞头,即可将全套打捞器提至地面,在干钻孔中用打捞器送入内管总成时,也用脱卡管回收打捞器,其优点是不破坏打捞器零件,可重复使用;⑤安全机构,常用的结构是在提引机构与配重之间以安全销连接,当打捞过程受阻,有可能拉断绳索时,安全销先被剪断,以便回收绳索,有时,在提引机构与绳索之间接一段强度较低的安全绳,提升受阻时先由安全绳处断开,以保护绳索。

利用绳索取心钻具钻凿近水平或上仰钻孔时,其内管总成及打捞器不能靠重力送入孔底,只能用冲洗液泵送。为此,需在钻具结构上作局部修改。另外,如果用打捞器打捞内管失败,可像普通钻进方法那样将全部钻具提出钻孔进行处理。

**发展概况** 绳索取心钻进于20世纪40年代初最先在美国应用于油气井的大口径勘探钻进。1947年由美国长年(Longyear)公司引用到地质勘探岩心钻进。随着金刚石钻头制造技术的改进,出现了高效长寿命的金刚石地质取心钻头,进一步推动了绳索取心钻进的发展。随着绳索取心钻具结构的不断完善,钻具和管材材质及加工工艺水平的逐步提高,如今绳索取心钻进已成为一种体系完整、技术成熟的钻进方法,广泛应用于欧美国家的地质勘探钻孔。日本于20世纪50年代引进该项技术并积极发展,应用也较普遍。苏联约在20世纪70年代初才开始研究。中国的绳索取心钻进是从20世纪70年代中期开始发展起来的。1975年,地质科学院勘探技术研究所率先研制出S-56型绳索

取心钻具,同年,冶金工业部地质研究所研制出YS型绳索取心钻具。1976年,煤炭科学研究院地质勘探研究所也研制出一套绳索取心钻具。此后,经不断改进、配套和标准化,现已形成系列完整的产品,成为中国岩心钻探的主要技术手段之一。

近年来,中国开发出具有国际先进水平的绳索取心液动冲击回转钻具和不提钻换钻头绳索取心钻具。国外正在研究适于科学深钻的,由螺杆钻、涡轮钻等孔底动力机驱动,能连同内管总成一起用绳索打捞的新型取心工具。

(赵贵祥)

shimei

**石煤** (stone-like coal) 主要由早古生代的海生菌藻类及浮游生物遗体,在海湾、潟湖、浅海或斜坡环境下经成煤作用转变而成的固体可燃矿产,其热值一般偏低,其变质程度相当于无烟煤、超无烟煤。因外观似黑色岩石而得名。

石煤灰分一般达60%~85%。但中国陕西安康、湖北竹山一带在早古生代地层中分布有灰分为20%~40%的石煤,实质上已属腐泥无烟煤。

#### 成分

(1) 有机显微组分。呈细散状分布,可分为菌藻类体、动物外皮体、基质体和运移沥青体。其中藻类体为主要组分,有单细胞藻、群体藻,呈球状、椭球状、网状等。动物外皮体的含量随藻类体的增多而增大。石煤中的有机碳含量一般在10%~30%。

(2) 无机显微组分。即各种微细矿物质。主要矿物为隐晶质石英以及伊利石、水云母等粘土矿物,次要矿物有黄铁矿、磷灰石、方解石、白云石等。石煤中热液矿物与变质矿物随地而异。石煤次生裂隙常被石英、方解石、重晶石、石膏等矿物充填。

**性质** 包括物理性质、化学工艺性质等。

**物理性质** 灰黑色,光泽暗淡,相对密度2.2~2.8,硬度大,断口平坦或呈阶梯状、参差状等。

**化学工艺性质** 石煤含碳量一般在10%~15%,所含可溶有机质,氯仿沥青A产率为25~900ppm,饱和烃与芳烃的比值一般大于1。

发热量一般为3.3~7.1MJ/kg,腐泥无烟煤可达16.7~33.5MJ/kg;燃点高,火焰呈暗红色,焰高可达10~20cm。

挥发分以3%~5%者最常见。

灰成分中,一般SiO<sub>2</sub>含量占70%~90%,氧化铁4%~6%,氧化铝5%~10%,氧化钙1%~3%,氧化镁0.8%~1.2%。灰熔融性一般在1100~1500℃之

间。

石煤含硫量较高,60%以上的石煤其含硫量在1.5%~4%。五氧化二磷含量一般大于0.1%。

**共生矿产** 石煤中富含多种伴生元素。

(1) 钒。 $V_2O_5$ 含量一般达工业品位(0.5%~0.7%)要求,并易提炼,可作为独立钒矿床开采。

(2) 钼、镍、铀、镓、银、金及铂族等伴生元素。达到或接近工业品位的矿点也不少,有些元素虽未达到工业品位要求,但可作为伴生矿产综合回收。

(3) 磷矿。呈结核状态产出在石煤中或呈矿层产出在石煤层下部。

(4) 碳沥青。呈脉状充填在石煤附近断裂带中,为优质燃料。经研究认为,它是由石煤在煤化过程产生的油,运移到裂隙中凝固而成。

**资源分布** 在中国南方浙江、江西、安徽、湖南、湖北、广东、广西、贵州、云南、四川、陕西、河南、甘肃等12个省区均有石煤资源分布,石煤储量618.7亿t。其中,湖南居首位,为187亿t;广西居次,为128亿t;浙江第三,为106亿t;安徽74亿t;江西68亿t(计算深度300m,发热量低于3349.44J/g者未计)。

**利用** 石煤既是一种低热值燃料,近10多年中,中国南方缺煤省、区就地就近利用石煤资源,促进了当地地方工业和乡镇企业的发展,石煤综合利用已逐渐形成系统配套工程,主要利用它进行发电、烧制石灰、制造水泥及民用建筑材料、提取 $V_2O_5$ 、制碳化制品等。利用石煤时,需解决环境污染问题。

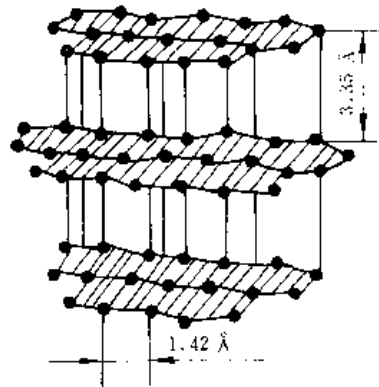
(张爱云)

shimo

**石墨** (graphite) 化学成分为碳,晶体属六方或三方晶系的自然元素矿物。它与金刚石同是碳的同质多象变体。“石墨”一词是1789年由A. G. 沃纳(A. G. Werner)根据希腊字“Graphin”提出的。

**概述** 石墨呈铁黑色至钢灰色,条痕呈光亮黑色,其化学成分是碳。但天然产出的石墨很少是纯净的,常含10%~30%的杂质,包括 $SiO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $MgO$ 、 $CaO$ 、 $P_2O_5$ 、 $CuO$ 、 $V_2O_5$ 、 $H_2O$ 、S、FeO以及H、N、 $CO_2$ 、 $CH_4$ 、 $NH_3$ 等。这些杂质常赋存于石英、黄铁矿、碳酸盐矿物、粘土矿物和沥青之中。石墨具典型的层状结构,其层内原子排列成六方柱状(右上图),原子之间以共价键—金属键联结。层与层之间则以分子键联结。由于层间价键较层内价键弱,在平行{0001}面上形成极易解理。根据碳原子在结构空间的排列方式,可以

将石墨划分为2H型和3R型两种矿物类型。①2H型石墨。碳原子层按AB、AB、AB、……顺序排列(重复数为2)的六方结构体,属六方晶系。其热动力性能稳定在较大范围内( $t > 2000^\circ C$ ,  $P < 130kbar$ ),在自然界广泛分布。②3R型石墨。碳原子层按ABC、ABC、ABC、……(重复数为3)排列的菱型变体,属三方晶系、亚稳定相,当温度升高到 $2000^\circ C$ 时即消失,在天然石墨中不能被单独分离出来。



石墨晶体结构示意图

由于石墨具上述结构特征,因而它极易沿{0001}面揭成薄片,且其硬度亦具各向异性,在垂直解理面的方向硬度为5.5,在平行于解理面方向硬度为1~2。石墨质软,具脂肪感和滑腻感,染手,相对密度2.1~2.2,具挠性,无弹性,耐高温,熔点 $3652^\circ C$ ,沸点 $4200^\circ C$ ,在 $4500^\circ C$ 左右升华。石墨结晶格子内存在着容易运动的电子,能传递电流,并在原子与原子之间传递热波,所以导热性与导电性好,甚至优于铜、铝。但石墨碳原子在结晶格子原子层中的紧密排列使它的热振动性变弱,在超高温条件下甚至趋于绝热状态。

石墨由于具有鳞片状和叶片状外形,摩擦系数小,粘着力高,因而具有可塑性,可剥成透气、透光的薄片,可生产出用金刚石刀具也很难加工的高强石墨。

石墨在常温下具有良好的化学稳定性,不受任何酸、碱及有机溶剂的侵蚀。但在高温下石墨则变得活泼起来。① $700^\circ C$ 时,它耐不住高温水蒸汽的侵蚀。②到 $900^\circ C$ 时,二氧化碳对它侵蚀作用。③在 $400^\circ C$ 的高温下,将石墨长时间放在氟气流中,会生成灰色固体物质CF。④在高温下,将石墨与硝酸、硫酸、高氯酸等强氧化剂作用,则石墨体积将膨胀。

**矿床类型** 天然产出的石墨可分为鳞片状石墨、结晶脉状(或纤维状、柱状)石墨和隐品质石墨三类。①鳞片状石墨。呈片状,赋存于早前寒武世的古老变质杂岩中,多属区域变质矿床,少数为岩浆热液矿床。②

结晶脉状石墨。呈脉状或囊状聚集体,沿伟晶岩与石灰岩的接触带分布。③隐晶质石墨。通常呈细小的晶粒,分布于板岩等浅变质岩、页岩或基本由石墨组成的岩层中。后两者属接触变质矿床。含煤岩系中的石墨主要为隐晶质石墨,部分为细鳞片状石墨,由岩浆侵入煤层,发生接触变质而形成。

**工业用途** 石墨广泛用作耐火材料、润滑材料、化学工业中的各种电碳制品和碳素制品。光谱纯石墨粉广泛用作电子工业的单晶硅元件和可控硅烧结时的耐高温、导电、导热材料。硅剂胶体石墨可用作电子显像管涂料等。石墨还可用于核工业、航空航天工业和国防工业、人造金刚石和生活用品的生产等。

**资源分布** 世界石墨矿床集中分布于10多个国家。①鳞片状石墨主要分布于前苏联、中国、马达加斯加和德国。②隐晶质石墨主要分布于朝鲜、韩国、前苏联、中国、奥地利、墨西哥、捷克和斯洛伐克。

世界含煤岩系中的石墨资源产地有①亚洲有中国、朝鲜、韩国、日本及俄罗斯西伯利亚一带;②欧洲有奥地利、捷克、意大利、德国、前苏联和瑞士;③美洲有墨西哥、巴西和美国;④非洲有肯尼亚;⑤澳洲有澳大利亚的南威尔士地区等。其中,韩国的忠清北道、庆尚北道和江原道,俄罗斯的库列斯克和诺金斯克,奥地利的施蒂里亚州,墨西哥的索诺拉州是世界煤系中石墨资源的主要产地。

中国的石墨资源丰富,储量大,种类齐全,矿石品位高。它是中国具有优势的矿种之一,在世界上占有重要地位。其中,鳞片状晶质石墨集中分布于黑龙江东部,胶东、辽南及内蒙古、晋北三个成矿区。

中国煤变质石墨矿床分布在东部环太平洋区域及西部若干岩浆断裂带上,尤其是集中在郯庐断裂附近及其以东地区。主要分布于湖南、广东、福建、北京、吉林和黑龙江等省市。辽宁、江西和河北等地也有煤接触变质成因石墨矿点报道。湖南和吉林是中国重要的含煤岩系石墨矿产地。其中,湖南鲁塘石墨矿和吉林磐石石墨矿是中国目前规模最大的含煤岩系石墨矿产地。

尽管石墨是世界上广泛分布的一种非金属矿物资源,然而与含煤岩系共生的石墨矿床的分布却较局限。其成矿时代虽从石炭纪延续到侏罗纪,但主要是晚二叠世及侏罗纪。一般,中国南方以二叠纪为主,北方以侏罗纪居多。含煤岩系中的隐晶质石墨矿具有规模大,矿石品位高的特点。由于受岩浆热变质作用的强度不同,某些地带或部位的石墨矿中,3R型石墨相对富集,成为煤变质石墨矿床的一大特色。

**储量** 据1987年统计,国外石墨的总资源量估计

约有0.7~0.8Gt。

到1990年,世界含煤岩系中已查明的石墨储量超过12.45Mt,其中90%以上分布在中国、前苏联、韩国、墨西哥和奥地利。

中国是世界含煤岩系中石墨资源量最大的国家,探明储量52.5164Mt,占世界含煤岩系中石墨总储量的40%以上。其中,湖南鲁塘石墨矿生产的石墨,天然含碳量高(一般在70%~80%,最高达98%),其质量之优不但居国内之首,在国际上也屈指可数;吉林磐石石墨矿出产的3R型石墨,是生产彩电显像管、石墨乳和合成金刚石等高精产品的优质原料。

#### 参考书目

莫如爵等,《中国石墨矿床地质》,中国建筑工业出版社,1989。

(张鹏飞 彭苏萍)

ShitanErdieji hanmeidiceng

**石炭二叠纪含煤地层** (Permo-Carboniferous coal-bearing stratum)

中国最重要的含煤地层,含约占全国30%的煤炭资源量,其煤炭年产量约占全国55%。这是一套以海陆交替相为主的碎屑岩含煤地层,除分布于华北聚煤区(见聚煤区)外,西北聚煤区(见聚煤区)亦有零散分布。地质时代为晚石炭世至晚二叠世,南方的晚二叠世含煤地层大部分属本含煤地层上部层位的同期沉积。

**地层特征** 石炭二叠纪含煤地层包括上石炭统、下二叠统及上二叠统下部,可统一划分为五个地层组(表1),在华北、西北均易鉴别对比。按照国际公认的古生物年代标准,太原组中、上部应划归下二叠统,但中国在太原组中对石炭系、二叠系界限的具体划定工作尚不充分,现该组仍全按上石炭统处理。

**本溪组** 据辽宁省本溪市标准剖面命名。在辽宁东部,全组系一套海陆交替相砂岩、泥岩、泥灰岩沉积,夹煤线。其底部以一层厚度小于10m的铝铁质岩假整合于中奥陶系古风化壳之上。全组总厚度为60~210m。泥灰岩中产出筴类、腕足类等化石,可划分为*Eostaffella*(下部)及*Fusulina-Fusulinella*(上部)两个筴类化石带。在华北各地,底部的铁铝质岩普遍发育,通常把下部以褐铁矿为主的铁质岩称为山西式铁矿,上部以铝土为主的岩层称为G层铝土矿。其上的海陆交替相沉积,在太原西山称为畔沟段,产筴类*Fusulina*等化石;相当于辽东*Eostaffella*筴类化石带的层位在华北并不发育,而且华北整个本溪组自东而西变薄,至晋西、豫西缺失上部,仅保留铁铝质岩,到陕北、内蒙古伊克昭盟鄂尔多斯煤田深部,本溪组全部



表1 石炭二叠纪含煤地层名称一览表

|             |                  | 统一名称  | 地 方 名 称 (部 分) |            |      |          |          |                             |          |
|-------------|------------------|-------|---------------|------------|------|----------|----------|-----------------------------|----------|
|             |                  |       | 宁夏            | 内蒙古<br>大青山 | 北京   | 河北<br>唐山 | 辽宁<br>本溪 | 山东<br>淄博                    | 江苏<br>徐州 |
| 二<br>叠<br>系 | 上<br>统<br>下<br>统 | 上石盒子组 | 鄂内组           | 上石叶河组      | 辽南群组 | 古冶组      | 郭家窑组     | 上石盒子组<br>串河河段<br>泰山段<br>万山段 | 夏湾组      |
|             | 下<br>统           | 下石盒子组 | 大营内组          | 荆山沟组       | 荆山沟组 | 唐家庄组     |          | 泰山组                         |          |
|             |                  | 山西组   | 山西组           |            | 袁家湾组 | 大庄组      |          | 泰山组                         |          |
| 石<br>炭<br>系 | 上<br>统           | 太原组   | 太原组           | 晋中组        | 高平组  | 赵家庄组     | 黄县组      | 博山组                         | 屯头组      |
|             |                  |       |               | 行平组        |      |          |          |                             |          |
|             | 下<br>统           | 本溪组   | 平遥内组          | 介太组        | 本溪组  | 唐山组      | 本溪组      | 章丘组                         | 本溪组      |

△含煤组。

尖灭缺失。该区以西的宁夏、甘肃,与本溪组相当的地层为羊虎沟组,主要为海陆交替相砂岩、泥岩、泥灰岩沉积,夹薄煤层数层,全组厚度百至千余米,不整合于上寒武统之上,产出植物 *Conchophyllum* 等化石。

该组地质时代长期被定作晚石炭世维斯发期(Westphalian),但在本溪地区从其近底部层位采获了 *Linoproductus* 腕足类, *Sublepidodendron* 亚鳞木属植物等化石,故部分地区的本溪组可能还包括了早石炭世韦宪(Visean)晚期至纳穆尔(Namurian)期的沉积。

**太原组** 标准剖面在山西省太原市西山月门沟。在标准剖面地点,太原组为海陆交替相沉积,自下而上分作三段,①晋祠段,由砂岩、凝灰质砂岩、粉砂岩、泥岩、石灰岩夹煤层组成,段厚 24~25m。其最底部是一层 3~8m 厚的砂岩,称晋祠砂岩;上部的薄层泥质灰岩称吴家峪灰岩。段内产出动、植物化石,重要分子有藓类 *Triticites* 等;②毛儿沟段,由石英砂岩、凝灰岩、粉砂岩、泥岩和泥灰岩组成,夹煤层,段厚 46~49m,包括底部的七里沟砂岩及庙沟灰岩、毛儿沟灰

岩、斜道灰岩等标志岩层,段内含丰富的动、植物化石,重要的有藓类 *Pseudoschwagerina* 等;③东大窑段,由泥岩、粉砂岩、砂岩及薄层石灰岩、菱铁矿、煤层组成,段厚 19~37m,顶部的东大窑灰岩常相变为泥质、硅质、粉砂质及菱铁质海相岩层,段内产藓类 *Pseudoschwagerina* 等大量动植物化石。

华北、东北及陕西渭北地区的太原组,与太原西山的基本特征大体相同。从大范围讲,石灰岩层自东向西,由南而北层数减少、厚度减薄。

河南及华东地区的太原组,仍包括三个岩段,下段为泥质灰岩夹煤层;中段为砂岩、泥岩,夹石灰岩及薄煤层;上段为石灰岩、燧石灰岩,夹砂岩、泥岩及煤层。

内蒙古大青山一带的太原组,为纯陆相沉积,以砂岩、砾岩等粗碎屑岩为主,夹粉砂岩、泥岩、碳质泥岩及煤层,产出植物化石。在鄂尔多斯煤田深部,太原组以砂岩、粉砂岩、泥岩为主,局部含薄煤层,厚度不超过 50m。

宁夏、甘肃一带的太原组,以海陆交替相砂岩、泥

岩夹煤层、薄层灰岩为主要岩性组合,厚度数十米至百米不等,变化大,含煤数层至十余层,产出动、植物化石,重要的有筳类 *Rugosofusulina*, 腕足类 *Dictyoclostus* 等。

关于太原组的时代,中国长期以来定作晚石炭世,但据世界上公认的标准,仅有其下部含筳类 *Triticites* 化石带的晋祠段可以归入石炭纪;其中、上部含筳类 *Pseudoschwagerina* 化石带的层位,应划归早二叠世。

**山西组** 标准剖面在山西省太原市西山,为一套陆相或过渡相沉积,岩性为泥岩、砂岩,夹煤层、菱铁矿层及薄层石灰岩。组厚 27~56m。其底部以北岔沟砂岩底面与太原组为界;顶面则与下石盒子组底部骆驼脖子砂岩底面为界。组内产丰富的植物化石,大部为中期华夏植物群 A 期的分子,并有双壳类 *Dunbarella*, 腹足类 *Bucanopsis*, 腕足类 *Lingula* 等动物化石。华北绝大部分地区及宁夏、甘肃等地的山西组,其岩性、岩相基本与太原西山相仿,到北部的北京—承德—通化一线以北,山西组岩石颗粒明显变粗,以粗粒砂岩为主,仍夹煤层;到南部的河南、华东地区,山西组以泥岩、细砂岩为主,产出较丰富的动、植物化石,重要的有筳类 *Parafusulina*、*Rugosofusulina*, 腕足类 *Chonetes*、*Lingula* 等。内蒙古大青山区的杂怀沟组,下部为砂岩,砾岩,上部为泥岩、粉砂岩夹煤层,组厚 40~70m,大致属山西组同期沉积。

**下石盒子组** 据山西省太原市东山石盒子沟标准剖面命名,为一套不含可采煤层的陆相砂岩、泥岩岩组,除下部岩层呈灰色色调外,中、上部基本为红色及杂色色调。在安徽淮南(见淮南煤田),下石盒子组底部为灰白色中、粗粒石英砂岩,其上为泥岩、鲕状泥岩、细砂岩,夹煤层,组厚 100~150m,产出中期华夏植物群 B 期植物化石,局部产 *Lingula* 腕足类化石。大致以陇海铁路为界,路北的石盒子组基本属非含煤组,路南为含煤组,是淮南、淮北、徐州、平顶山等煤田的重要开采对象。

**上石盒子组** 据山西省太原市东山石盒子沟标准剖面命名。在陇海铁路以北,华北各地均为一套不含煤的陆相紫红色、杂色砂岩、页岩组。陇海铁路以南的河南、皖北及苏鲁交界地区,上石盒子组连续沉积于下石盒子组之上,其上连续沉积着石千峰组红色砂、泥岩层,全组亦由砂岩、泥岩组成,厚 400~600m。其中、下部以灰、黑色调为主,含煤层,愈往南部含煤性愈高;上部以红色、杂色色调为主,不含可采煤层,产晚期华夏植物群 A 期植物分子,在局部地点还产 *Lingula* 腕足类化石。

**古生物特征** 中国北方的石炭二叠纪含煤地层中,植物化石分布广,演化过程比较清楚;动物化石受环境限制,主要分布于石炭纪的海相岩层中,二叠纪仅有少量门类分布在局部地区和层位中(表 2)。

表 2 石炭二叠纪含煤地层主要生物及组合(带)

|               | 植 物   | 筳 类                                  | 腕 足 类  |
|---------------|---|--------------------------------------|--|
| 上盒<br>石子<br>组 | <i>Gigantonoclea hallei</i> <i>Lobatannularia heia-</i><br><i>nensis</i> 组合   |                                      | <i>Lingula</i>   |
| 下盒<br>石子<br>组 | <i>Emplectopteris triangularis</i> - <i>Taeniopteris</i><br>spp. - <i>Cathaysiopteris whitei</i> 组合                 |                                      |  |
| 山<br>西<br>组   | <i>Emplectopteris triangularis</i> <i>Taeniopteris</i><br><i>multinervis</i> <i>Emplectopteris iduina alatum</i> 组合 | <i>Schwagerina gumbeli</i> 带         | <i>Lingula shanxiensis</i> , <i>L. sub-</i><br><i>orbiculata</i>     |
| 太<br>原<br>组   | 晋祠段<br><i>Neuropteris ovata</i> - <i>Lepidodendron posihu-</i><br><i>mii</i> 组合                                     | <i>Pseudoschwagerina</i> 带           | <i>Dictyoclostus taiyuanfuen-</i><br><i>sis</i> , <i>D. uralicus</i> |
|               |   | <i>Triticites</i> 带                  |  |
| 本<br>溪<br>组   | <i>Conchophyllum richthysenii</i> <i>Lepidoden-</i><br><i>dron galvatum</i> 组合                                      | <i>Fusulina</i> <i>Fusulinella</i> 带 | <i>Chonetes mansuyi</i> , <i>C.</i><br><i>mosquensis</i>             |



图1 晚石炭世—早二叠世华北森林景观

1—科达 *Cordaites*; 2—楔叶 *Sphenophyllum*; 3—辉木 *Psaronius*; 4—鳞木 *Lepidodendron*;  
5—齿叶 *Tingia*; 6—脉羊齿 *Neuropteris*; 7—芦木 *Calamites*; 8—封印木 *Sigillaria*

(据徐仁, 1980; 田宝森改绘)

**动物** 本溪组、太原组、山西组都产出海相动物化石, 尤以太原组所含的门类最多, 有头足类、腹足类、腕足类、双壳类、珊瑚类、筳类、海百合类、牙形石类等; 本溪、山西两组的动物化石个体少, 且只分布在局部地区。筳类是划分、对比该三组地层的重要化石, 已建立四个带 (见表 2)。其中, *Triticites* 带又进一步分为两个亚带: *Montiparus umbinoplicatus* 亚带 (下) 及 *Triticites simplex* 亚带 (上)。在二叠系中, 受沉积环境控制, 滨海相岩层中的筳类、腕足类、腹足类、双壳类、牙形石类等化石, 仅见于山西组; 而下、上石盒子组仅于局部地段少数层位见到 *Lingula* 腕足动物化石, 代表一种近海的半咸水环境。

**植物** 以石松纲、真蕨纲、科达目为主, 种子蕨纲、有节类次之, 到晚二叠世时, 石松纲、科达目逐渐减少, 而银杏纲、苏铁纲及松柏纲相继出现 (图 1)。各组地层各有其植物组合 (见表 2)。本溪组的植物属于唐山贝叶-盔鳞木植物组合 (即 *Conchophyllum richthofenii*-*Lepidodendron galatum* 组合), 主要分子

还有 *Neuropteris gigantea*, *N. kaipingiana*, *Linopteris brongniartii*, *Lepidodendron oculus-felis* 等, 其中大部分分子均系欧美植物地理区维斯发 (Westphalian) 期常见分子, 仅猫眼鳞木 (*Lepidodendron oculus-felis*) 等少数属种为东亚所有, 表明华夏植物地理区在维斯发期已具雏形。太原组、山西组、下石盒子组, 上石盒子组, 以及和石千峰组同时代的南方晚二叠世含煤地层中的植物化石, 均具有东亚华夏植物地理区特征, 称为华夏植物群, 这也是中国最重要的一个造煤植物群。

**华夏植物群** 中国北方石炭二叠纪、南方二叠纪的古植物群落和主要成煤原始质料, 也是划分、对比含煤地层的重要古生物依据。该植物群繁衍时间长, 可分为早、中、晚三期。

(1) 早期华夏植物群。即 *Neuropteris ovata*-*Lepidodendron posthumii* 组合, 重要分子还有 *Annularia pseudostellata*, *Lepidodendron Szeianum*, *Cathaysiodendron incertum* 等。层位: 北方太原组; 时代: 晚石

炭世晚期,与欧洲斯蒂芬(Stephanian)期及阿萨尔(Asselian)期相当。

(2) 中期华夏植物群。包括 A、B 两个组合。①A 组合,即 *Emplectopteris triangularis*-*Taeniopteris multinervis*-*Emplectopteridium alatum* 组合,重要分子还有 *Callipteridium koraiense*, *Alethopteris ascendens*, *Lepidodendron posthumii*, *Odontopteris subcrenulata*, *Tingia partita* 等;层位为北方山西组;时代为早二叠世早期。②B 组合,即 *Emplectopteris triangularis* *Taeniopteris* spp.-*Cathaysiopteris whitei* 组合,重要分子还有 *Gigantonoclea lagrelii*, *Sphenophyllum neofimbriatum*, *Procycas densinervis*, *Pterophyllum daihoense*, *P. cutelliforme*, *Taeniopteris serrulata*, *T. shansiensis* 等;层位为北方下石盒子组;时代为早二叠世晚期。

(3) 晚期华夏植物群。包括北方、南方两套组合,①北方组合,即 *Gigantonoclea hallei*-*Lobatannularia heianensis* 组合,重要分子还有 *Gigantopteris dictyophylloides*, *Rhipidopsis panii*, *Chiropteris reniformis*, *Pseudorhipidopsis brevicaulis*, *Psymphyllum multipartitum*, *Annularia shirakii*, *Lobatannularia multifolia*, *Sphenophyllum sino-coreanum*, *S. koboense*,

*Fasciapteris hallei*, *Neuropteridium coreanicum* 等。层位为北方上石盒子组;时代为晚二叠世早期。②南方组合,即大羽羊齿植物群(见晚二叠世含煤地层);层位为南方下、上二叠统;时代为早二叠世晚期至晚二叠世早期。

**形成条件** 包括古地理与古气候。

**古地理** 晚石炭世至二叠纪末,中国北方为一东宽西窄、近东西向延展的沉积盆地,阴山和秦岭两个隆起区在北、南两侧夹持,盆地向东朝太平洋敞开,向西经河西走廊,向南穿越西秦岭分别与新疆、青海的古海盆联通(图2)。总体上,盆地由石炭纪的海浸演变为二叠纪海退,在广阔的滨岸地带形成了丰富的煤炭资源。盆地以鄂尔多斯隆起为界,分为华北及西北两部分。东部的华北地区沉积不厚,沉积物稳定性好;西部的西北地区沉积厚且变化大,中间的隆起区仅沉积了太原组以上地层,厚度小且含煤性极差。秦岭和阴山是盆地的陆屑供给区,在阴山隆起区内,有若干小型山间盆地分布。

**古气候** 根据华夏植物群推测,当时中国北方正处于赤道附近的热带地区,炎热潮湿,具有良好的植物生长条件。但自早二叠世晚期开始,干旱气候由北而南控制了北方大部地区,其南界大致沿陇海铁路一线。到

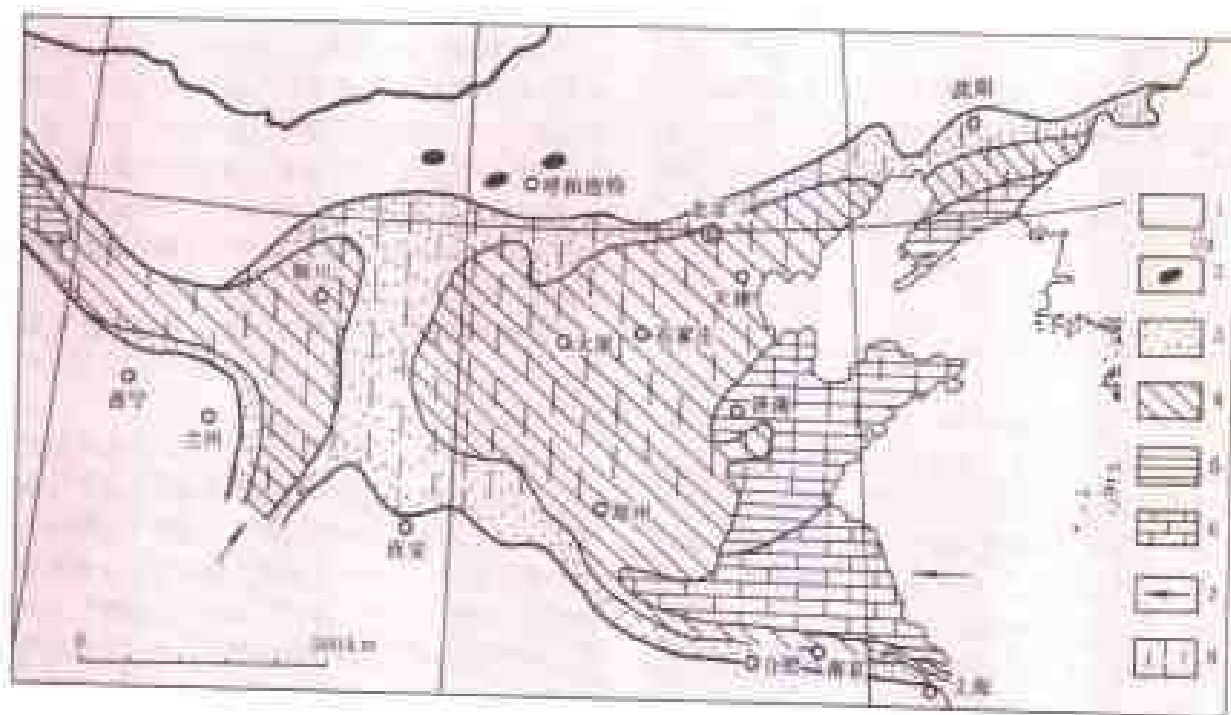


图2 中国北方石炭二叠纪古地理图

1—古陆; 2—山间盆地; 3—高地及冲积平原; 4—滨岸及滨海平原; 5—滨岸;  
6—浅海及滨岸; 7—海浸方向; 8—早二叠世晚期至晚二叠世早期干旱气候控制区

晚二叠世晚期,干旱气候控制范围进一步扩大到整个北方。

**含煤情况** 在石炭二叠纪含煤地层中,山西组在中国北方均含可采煤层,厚度一般在5~10m之间,比较稳定。太原组在安徽淮北—河南平顶山一线以北,亦普遍含可采煤层,其厚度由北向南逐渐递减,大部分地区约在2~10m间;在阴山南侧,即辽西、冀北、晋北以及宁夏贺兰山地区,煤层累积厚度10~30m。下石盒子组主要在陇海铁路以南有可采煤层,路北仅局部地点有厚1m左右的煤层;以靠南的安徽淮南,河南确山的煤层为最厚,可达10m以上。上石盒子组可采煤层主要分布于安徽淮北—河南许昌一线以南,以北仅零星地段达可采厚度;煤层最厚处亦在偏南的安徽淮南,河南确山、平顶山等地。

在中国整个北方,石炭二叠纪沉积盆地中,厚煤带集中于北、南两侧,即冀北—晋北—贺兰山带(北带)及淮南—平顶山带(南带)。两带中,石炭二叠纪可采煤层总厚度可达20m以上;另在盆地以北的大青山区,石炭二叠纪山间盆地中,煤层总厚亦可达30~50m,惟灰分高,煤质差。鄂尔多斯地区深部,石炭二叠纪煤层并不发育。

中国北方石炭二叠纪的煤种一般为烟煤及无烟煤,烟煤牌号均在气煤以上,无烟煤分布区常有后期岩浆活动。总体讲,太原组中煤的硫分偏高,二叠纪煤的硫分一般较低。

石炭二叠纪在中国北方形成了不少重要煤田,已经大规模开发的矿区很多,包括开滦(见开滦煤田)、平顶山(见平顶山煤田)、阳泉、潞安、晋城、西山(见沁水煤田)、峰峰、淮南(见淮南煤田)、淮北、兖州矿区等。

(田宝霖 王煦曾)

shuxue dizhi

**数学地质** (mathematical geology) 运用数学理论和方法研究各种地质现象的数量关系和空间形式的学科。它是以计算机为工具,用数学方法从量的方面来研究地质学基础理论和解决地质学中实际问题的新兴地质学分支。它的出现,标志着地质学已从定性描述开始向定量研究发展。

**研究内容** 包括地质过程的数学模拟、地质工作方法的数学模型和地质数据的自动化处理等三个方面。

**地质过程的数学模拟** 又称计算机模拟。它是根据对地质现象及演化过程的观察研究,建立数学模型,通过计算机运算,模拟地质过程与地质特征,再现地质

作用的发生、发展和变化过程。这样,既可深化对地质现象本质的认识,又可预测一些并未观测到但却可能发生的地质过程。沉积过程的计算机模拟、沉积盆地发育和演化过程数学模拟等就属这一方面。

**地质过程的计算机模拟** 可分为确定性数学模拟和随机过程模拟两大类。①确定性数学模拟,用精确的可以得到确定解的数学方法模拟地质过程。②随机过程模拟。用随机过程方法模拟地质过程,近年来还出现了将两者结合起来的模拟方法。

**地质工作方法的数学模型** 数学地质的基本任务是查明地质体的数学特征,建立地质体数学模型;查明地质数据及工作方法的特征,建立地质工作方法数学模型及地质矿产数据库等。主要采用多元统计分析方法,它分为属性分析与综合、特征空间分布、变量空间相关和参数时间变化四大类。

(1)属性的分析和综合。主要有相关分析与回归分析、聚类分析、判别分析、典型相关分析、因子分析、对应分析等方法。

(2)特征的空间分布。主要有趋势面分析、调和趋势面分析、单位向量场分析、典型趋势面分析等方法。

(3)变量的空间相关。主要指地质统计学方法。目前,它已发展成为一门独立的数学地质分支学科。

(4)参数的时间变化。主要包括马尔柯夫概型分析、时间序列分析等方法。

**地质数据的自动化处理** 随着矿产资源、能源需求量不断增加,采矿与地质勘探规模不断扩大,新增的信息量将十分庞大,为了充分而有效地利用这些信息,人们采用计算机技术,对地质数据进行存储、检索、查询,需要时以数字、图表形式输出,大大缩短工作周期,提高地质工作效率。目前,这个领域中最活跃的是地质数据库的建立与计算机自动成图的应用。

**煤田地质勘探常用数学方法** 主要有趋势面分析、聚类分析、判别分析、因子分析、对应分析、马尔柯夫分析等。

**趋势面分析** 用数理统计学中多元回归分析原理,将地质变量分为受大范围地质因素控制并反映规律性变化的趋势部分和受局部异常控制并反映随机干扰的剩余部分,进而研究地质变量的空间分布和变化规律的一种数学分析方法。它通过一般线性最小二乘法,用数学曲面拟合地质观测数据,是一种经验性方法。其目的是求出一个回归方程,用它来对平面数据点之间的数值进行插值或预测,用计算所得的趋势值和剩余值分别做成“趋势面图”和“剩余图”,以此作为地质解释和分析的基础图件。

趋势面分析除可用来研究煤田地质构造要素的空

间变化规律外,还可通过对含煤岩系厚度等值线的分析,研究同沉积构造的构造发展史;通过煤层总厚、分煤层厚度研究成煤条件;通过灰岩厚度、砂岩厚度、岩比值等特定岩性变化规律,研究区域沉积特征;通过煤层底板等高线图研究构造变形及后期改造变化规律。此外,它还用于探寻煤质、瓦斯、地温等的分布规律并进行预测。通过上述各种参数的交互使用,还可研究同沉积构造与后期改造之间的相互关系,研究煤质与构造、沉积环境之间的相互关系。

**趋势面分析**一般以在地质构造复杂程度中等—简单地区应用效果最佳。调和趋势面分析,又称傅里叶级数分析,主要用于研究褶皱构造等周期性重复的地质现象,将具有周期性的分量分离出来。典型趋势面分析则用于研究多个变量的空间分布规律,它是典型相关与趋势面分析相结合的产物,用以构造一个具有变量组合和空间坐标之间最大相关性质的多元的趋势面,它不表示每一个变量的绝对值,而表示变量的线性函数的变化特征,揭示一组变量共同的空间变化规律。

**聚类分析**又称点群分析、丛分析、簇分析,是一种数值分类方法。它应用一定的数学方法将样本或变量按其相似性逐步归类成组,最终得到一个反映样本或变量间亲疏程度的自然谱系图。

根据分类目的,聚类分析又分为Q、R两型,Q型对样本进行分类,R型对变量进行分类。

聚类分析所使用的统计量有①相似系数,包括夹角余弦、相关系数;②距离函数,包括斜交距离函数、离差平方和增量等。它可用于煤质、煤层瓦斯、沉积环境等的分类及成因解释,还可解决未知样本与变量的归宿问题。

有序量的聚类分析方法又称有序量最优分割法。它是先将一批样品按一定顺序排列成有序量,然后按“各段内部的样品间差异尽可能小,而段间差异尽可能大”的原则予以分割。它用于煤分类、地层划分与对比以及解决煤田地质工作中的某些分类问题时,效果较好。

**判别分析**利用若干个变量的一个或几个线性组合(线性判别函数),根据未知母体中样本的多变量观测值,将一个或一群个体划入几个已知母体之一的一种多元统计分析方法。它亦是一种数值分类方法,但必须以几个已知母体为前提,而R型聚类分析则无这个限制条件。

判别分析需按费歇尔准则(组间均值与组内方差之比为极大)和贝叶斯准则(归属某类的概率最大或错分损失最小)进行变量归类。

判别分析主要用来鉴别矿物、岩石和古生物种属,

划分地层、煤层和沉积岩相,区分成煤条件和成煤环境,进行煤分类及煤田预测等。

**因子分析**按多变量之间的相关关系将其加以组合,构成最少个数的独立新变量——因子(原始变量的线性组合),从而表达变量的总变异,简化变量,揭示其变异原因的方法。它是研究系统分类、成因分类的重要手段。

根据研究目的不同,因子分析可分为Q、R两型。Q型研究一组样品间的相关,R型研究一组变量间的相关。其基本统计量是相关系数与夹角余弦。因子分析是在相关矩阵的基础上,通过一定的数学方法,提取出主因子并计算出因子载荷矩阵,构成因子模型和因子结构,用以进行地质解释与作图。

**对应分析**20世纪70年代在因子分析的基础上发展起来的一种新方法,其目的是从正数数组中提取最大信息。它具有很强的判别能力,能较好地说明R型因子分析与Q型因子分析之间的对偶性,并使两者的计算结果统一在一个平面图上。可以认为,样品点群应归属同一类别;变量点群表示变量之间具有某种成因联系;一个样品点群可以用靠近这一点群的变量点来表征。这些样品点和变量点事实上是两个多维空间的二维投影。由此可见,对应分析更具有普遍应用意义,并可节省计算机内存和计算时间,在相当大的程度上解决了样品数对Q型因子分析的限制。

与因子分析相同,对应分析既可用于解决煤田地质领域中所有分类问题,又可对沉积环境、煤盆地发育规律、富煤带形成机制等问题作出成因解释。

**马尔柯夫分析**描述随机过程的一种数学模型。过程的将来发展,完全取决于其现在的状态,而与以前的状态无关,这称为“马尔柯夫性质”。给定过程的“现在”,其“将来”独立于“过去”的随机过程,称为“马尔柯夫过程”,因其对最近瞬间之前无记忆,故又称“无后效随机过程”。状态与空间间断的马尔柯夫过程,称为“马尔柯夫链”。

通过计算“状态”的概率转移矩阵、代换矩阵和熵分析,可以进行沉积旋回的划分,认识与预测地层序列的转移规律,加深对岩层及其相变关系的认识,确定沉积环境类型,进行地层对比,揭示成煤阶段的空间分布等。

**地质统计学**以变差函数为基本工具,在研究区域化变量空间分布结构特征的规律性的基础上,选择各种合适的克里格法,以达到更精确地估计或对区域化变量进行条件模拟为主要目的的统计分析方法。它是由南非矿山工程师D. G. 克里格(D. G. Krige)首创,由法国G. 马特隆(G. Matheron)加以完善与发



展而形成的一门数学地质分支学科。经历 20 年的发展历程之后, 它现已初步形成了一套较完整的理论体系和基本工作方法, 包括线性平稳地质统计学、线性非平稳地质统计学、条件模拟、平稳非线性地质统计学、储量参数的确定等。

地质统计学的应用已从用于矿产储量计算和可行性研究, 发展到广泛地应用于地质勘探、煤田地质、石油地质、水文工程地质、构造地质、环境地质、物探数据处理等许多方面。在煤田地质勘探方面, 可以进行煤矿储量计算, 合理勘探网度、合理勘探程度、合理勘探精度的选择, 最优孔位的设计, 煤矿床变异性规律的研究, 进行等值线绘图等多方面的应用研究。

**地质数据的自动化处理** 主要是建立煤田地质信息管理系统, 先将煤田地质勘探过程中所获取的大量地质信息, 包括数字、文字、图形、表格, 存储到计算机中, 建立各种类型的数据库。再根据工作需要, 随时进行人机对话, 检索、查询、修改、更新数据, 并以数据库为基础, 打印地质勘探日常工作中以及提交文字报告所用的各种表格, 自动绘制各类地质图件, 进行数学地质方法的计算与综合分析, 这将使地质资料高度集中, 避免资料的重复管理, 快速准确地为地质人员提供可靠的信息, 使地质工作从数据获取到成图过程全部自动化, 从而大大提高煤田地质研究水平, 提高勘探报告的精度, 使煤田地质工作逐步从定性走向量化。

**发展概况** 地质学与数学的首次结合, 约始于 150 年以前。1804 年, 英国地质学家 C. 莱伊尔 (C. Lyell) 首先用数理统计方法研究第三纪地层中的古生物, 用以解决地层划分问题。自那时起, 数学方法从单变量的简单应用逐步发展到多变量复杂方法的应用, 从地质学个别分支应用逐步扩展到地质学所有分支普遍应用。20 世纪 60 年代以来, 随着计算机技术的迅猛发展, 数学方法和电子计算机在地质学中得到了更为广泛地应用。1962 年, 苏联学者 A. B. 维斯捷利乌斯 (A. B. Висселиус) 首先提出“数学地质”一词, 并被以后的学术界所接受。1968 年, 在捷克布拉格第 23 届国际地质大会上, 成立了国际数学地质协会 (International Association for Mathematical Geology, IAMG), 并开始出版《国际数学地质协会杂志》和《计算机与地球科学》杂志。

中国研究数学地质始于 60 年代。70 年代, 各地质院校相继成立数学地质教研室(组)或开设数学地质专业课, 各地质研究所开始设置数学地质研究室、组, 并开始立项, 进行了大量实验研究探索工作。1978 年, 国家科委地质专业组成立数学地质分组。

煤田地质勘探中应用数学地质方法起步于 1976 年, 多种数学地质方法已得到了成功的利用。

未来, 数学地质将在下列领域得到应用与发展。

(1) 分形理论。又称分数维, 由法国数学家 B. B. 曼德尔勃洛特 (B. B. Mandelbrot) 创立。它在地质学中的应用主要有①地质断层的分数维解析; ②岩体破裂的分数维; ③地表水系的分数维特性; ④地震强度和时空分布的分数维特性。中国最早应用分数维研究地质问题的是北京地质学院的彭志忠教授, 他在 1986 年首次应用分数维研究了准晶体的微粒结构模型。

(2) 灰色系统。1982 年由华中工学院邓聚龙教授将自动控制学和运筹学等数学方法结合起来创造的理论, 主要研究由清楚信息系统(称白色系统)与信息不清楚系统(称黑色系统)相交叠部分构成的新系统——灰色系统。内部信息一无所知的黑色系统与全部已知的白色系统是灰色系统的两个极端。地质学中大量问题属于灰色系统范畴, 适合通过灰色理论加以解决, 这将拓宽现有数学地质方法的应用范围。

(3) 成分数据统计分析。70 年代由英国统计学家艾奇逊创立。成分数据的组分服从总和为 1 的限制条件。根据成分分量的比值不受闭合影响, 比值的对数常常服从正态分布的特点, 用成分分量比值的对数(简称对数比)作为研究成分数据的基本单元, 构成成分数据统计分析方法。在地质学中, 岩石的地球化学成分、沉积物组分与深度的关系、古生物化石含量、薄片鉴定等数据, 均符合成分数据的定义, 都可用成分数据统计方法进行研究分析。

(4) 方向数据统计。一种用数理统计方法研究方向数据的方法。起源于 18 世纪, 20 世纪初, 再度受到重视。由中国科学院应用数学所研究员方开泰等首次介绍到中国。方向数据, 是指在许多随机试验中得到的一系列表示角度或方位的数据, 这在地质学中是普遍存在的, 主要包括岩层产状、煤层产状、褶皱产状、断层产状等, 均可用这种方法进行研究。

(5) 矿床统计预测。自从 1976 年建立国际地质对比计划 (International Geological Correlation Program, IGCP)《资源研究中的计算机应用的标准》以来, 固体矿产资源的统计预测成为数学地质中一个很活跃的分支, 它在中国已进入独立发展阶段, 出现了多方法叠加、有序渐进深入、多层次方法组合等方法, 实现了多矿种多矿床类型的多目标预测、无模型预测、多种预测信息的综合应用, 建立了一整套综合信息矿产预测方法。

(6) 模糊数学。1965 年由美国数学家 L. A. 查德 (L. A. Zadeh) 教授创立。70 年代后期引入中国并得



到了普遍应用。其中,模糊分类、模糊集合隶属度、模糊综合评判等,已广泛应用于地质学的各个领域。

(7) 突变论。由法国数学家 L. 汤姆提出的一种新理论,是微分拓扑学的进一步发展,可用于分析研究断层运动和古生物灭绝等地质现象。

### 参考书目

於崇文等,《数学地质方法与应用》,冶金工业出版社,1978。

赵鹏大等,《地质勘探中的统计分析》,中国地质大学出版社,1990。

(门桂珍)

shuzi dizhenyi

**数字地震仪** (digital seismograph) 将地震信号经过离散采样、量化后,以二进制编码形式记录于磁带或磁盘上的装置。地震勘探时,地震波从不同深度界面上返回地表,被检波器接收并转换输出模拟电信号。数字地震仪的主要功能是将电信号转变成数字信号并真实地记录到磁带或磁盘上,作为后续分析处理的原始资料。它具有动态范围大、增益高、滤波作用强的特点。

**种类** 近代的数字地震仪分为集中式固定逻辑控制型、集中式数字控制型及分布式数字控制型三大类。后两类都由微机通过软件对仪器实施控制,适用于各类震源,具有对采集信息进行现场处理的能力。

**构成** 数字地震仪由记录系统、监视回放显示系统组成(图1)。

**记录系统** 包括前置放大器、多路转换开关、瞬时浮点放大器、采样保持器、模数转换器(A/D)、写格式编排器与磁记录器等。一个观测点的检波器及其对应的放大器到信号记录器整个传输回路,称为一个地震道。目前使用的数字地震仪有12道、24道、48道、96道……500道,直至数千道。

**监视回放显示系统** 包括逻辑控制、数字自动增益控制、数模转换器(D/A)、反多路转换开关、多路滤波器及示波器等。

### 原理

**动态范围** 地震仪的动态范围是  $x_1$ 、 $x_2$  比值的分贝(dB)数,动态范围  $= 20 \log \left( \frac{x_2}{x_1} \right)$ 。式中  $x_1$  为仪器能分辨的最小信号,常取仪器系

统的均方根噪音电平; $x_2$  为仪器能记录的不失真的最大信号,常取不溢出的最大可记录信号。动态范围标志着记录系统可记录到的最小信号到最大信号的范围,它是数字地震仪的一个重要指标。从不同深度返回的地震信号可由微伏级到伏级,深层信号微弱,与浅层信号能量相差悬殊,其差值可高达100dB以上,地震仪的动态范围愈大仪器性能愈优。

**地震信号的数字化** 检波器输出的地震信号是振幅连续变化的模拟信号。数字化把模拟信号转换为阶跃式的离散数字信号,这一过程经过采样、量化及编码三步实现。

(1) 采样。以相等时间间隔  $\Delta t$  (称采样间隔) 从连续地震信号上拾取其振幅值的离散数字序列样值(称子样)。①当  $\Delta t$  足够小,满足采样定理  $\Delta t \leq \frac{1}{2f_N}$  时,离散子样才能不失真地恢复原来的地震信号。式中  $f_N$  为尼奎斯特(Nyquist)频率或折叠频率。②当  $\Delta t > \frac{1}{2f_N}$  时,将引起假频(采样过程中产生的频率混淆现象)干扰。为避免这类干扰,在前置放大器中设置一个去假频滤波器,该滤波器是一个截频为  $f_N/2$  的低通滤波器。

离散采样由多路转换开关实现。多路转换开关是一个高速电子开关,在一个采样间隔内,它从第一道起,顺序接通所有地震道一次,把多道信号变成离散、按时分道排列的顺序脉冲子样,输至主放大器及模数转换器(将模拟信号转换为离散数字量的装置)。

(2) 量化。由模数转换器将从主放大器输入的离散

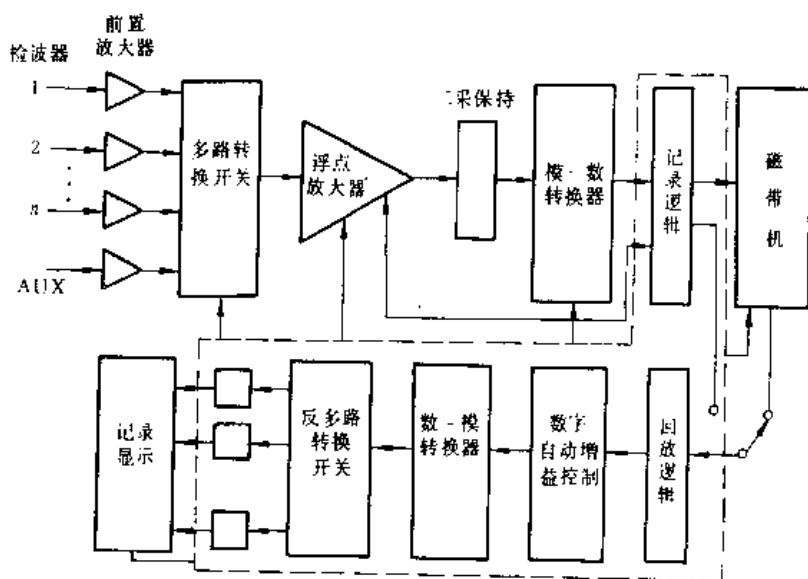


图1 集中式固定逻辑控制型数字地震仪构成方框图

模拟子样的尾数与参考电压  $v_r$  的分数电压  $Nv_r$  相比较, 实现子样的量化(图2)。N 是一个二进制的因素。数字控制的比较器用逐次逼近的方法将输入的子样电压与  $Nv_r$  比较, 每比较一次有一个 N 值, 但只有当两者电压相等(比较器的输入电压为零)时, 子样尾数被量化, 所取的 N 值以二进制编码的形式暂时存入数码寄存器, 待仪器发出指令, 寄存器中的数码 N 即以数字形式输出。模数转换器输出的字长有 14 位、15 位、18 位及 24 位等不同的位数, 但第一位都是符号位。当字长为 15 位时, 其理论动态范围是  $20\log(2^{14}) = 84\text{dB}$ 。

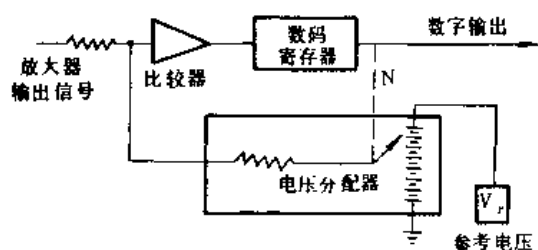


图2 模数转换器示意图

(3) 编码。在写格式编排寄存器中, 将模数转换器输出的二进制数码, 按国际流行的 SEG (Society of Exploration Geophysicists) 格式, 进行记录次序的编排后, 录制在磁盘或  $\frac{1}{2}$  in 的 9 轨磁带上。磁带记录密度为 800、1600 或 6250 bpi (每英寸的位数)。常用的格式有 SEG-B、SEG-C、SEG-Y、SEG-1 及 SEG-2 等。

**瞬时浮点放大器** 简称主放大器, 它与前置放大器的目的和性质不同。前置放大器的功能是放大由检波器输出的连续变化的微弱地震信号, 目的是提高地震信号的抗干扰能力, 以适应离散采样的需要。而主放大器的功能则是放大离散采样后的地震子样信号, 在一定精度要求下将每个子样值放大成满足模数转换器要求的规格化模拟尾数及二进制阶码。它具有高精度、高速度、增益能瞬间自动变化的特点, 是实现地震信号数字化的关键步骤。经主放大器最佳放大是使输出达到后续模数转换器满量程或至少  $1/4$  满量程, 即模数转换器转换后的二进制编码最高位为 1 或至少次高位为 1。主放大器输出的子样由两部分组成, 一部分是放大倍数, 称增益码, 以二进制表示, 直接输入写编排器; 另一部分是放大后的子样尾数, 以模拟量表示, 输至模数转换器。

地震信号动态范围约为 120dB, 采用定点方式不失真记录时, 二进制编码不低于 20 位, 量化单位在微

伏级, 精度要求高, 目前难以实现。若采用浮点方式记录, 阶码三位, 最大编码值为  $(111)_2 = 7$ , 只要基本放大节增益为  $4 = 2^2$ , 7 个放大节串联, 最大放大倍数即可达  $4^7 = 2^{14} = 84\text{dB}$ , 模数转换器只要 14 位 (84dB) 就足以不失真记录, 且量化单位为毫伏级, 技术上不存在任何困难。

**发展趋势** 数字地震仪正向更高精度、更快的增益控制、更大的总体动态范围发展。一方面发展多道遥测, 光纤数据传输地震记录系统; 另一方面向功能齐全的小型轻便地震仪方向发展, 以适应三维地震勘探、各种特殊条件地震勘探和工程地震勘探等的需要。

(刘天放)

shuiwen dizhi cehui

**水文地质测绘 (hydrogeologic survey)** 以地面调查为主的水文地质工作。它是矿床水文地质工作的重要手段和基础工作。其任务是调查和观测地表水、地下水露头以及与地下水有关的各种现象, 并进行综合分析, 为阐明测区水文地质特征、矿床充水因素和边界条件提供资料。水文地质测绘的综合成果, 反映测区水文地质条件的整体轮廓, 是布置专门水文地质工程的基本依据。

水文地质测绘的内容及侧重点, 根据测绘目的、测区的自然条件、水文地质特征和类型加以确定, 主要调查项目有地质、地貌、地表水、地下水露头、植被以及其它地质现象等。

**水文地质调查** 目的在于阐明测区水文地质条件的形成背景, 其主要内容是岩性和构造调查。

岩性是形成含水层、隔水层及其特征的物质基础。通过调查测区各种岩层的分布、岩性和厚度, 配合其它调查资料, 确定岩层含水空间的发育程度和含水性; 划分含水层和隔水层; 建立测区的地质—水文地质综合柱状。

地质构造是控制地下水形成、分布和运动的重要因素, 重点是调查断裂、褶皱的发育程度和分布特征; 研究断层的产状、断距、性质及其导水性、透水性或阻水性, 分析其沟通地表水与地下水及各含水层, 使之发生水力联系的可能性; 调查喀斯特、裂隙的发育与地质构造间的关系, 结合其它资料, 预测与这些因素有关的富水地段。

**地貌调查** 调查地貌与地层、岩性、构造的关系; 地貌对大气降水的渗入和对地下水补给、汇集、排泄条件的控制作用。在第四系分布区, 重点是调查地貌特征与沉积物厚度、成因、岩性、岩相以及富水性之间的关系; 研究河谷形态、阶地类型和分布。在喀斯特发育地



区,重点是调查各种喀斯特地貌景观和微地貌的分布特征;分析地貌与地下水补给、径流、排泄之间的内在联系。

**地表水调查** 调查地表水体的分布、水位、水量、水质及其变化,洪水位标高和淹没范围;调查地表水与地下水的水力联系;评价地表水对煤矿床开采的影响程度等。

**地下水露头调查** 地下水露头包括天然露头和人工揭露点。天然露头有泉、暗河出口、落水洞、喀斯特竖井及地下水溢出带。人工揭露点有钻孔、水井、生产矿井等。地下水露头是直接认识地下水的良好标志,在水文地质测绘中居重要地位。

**泉** 最常见的地下水天然露头。它与地质、地貌条件有密切的内在联系,是含水层富水程度的直接标志。泉的研究,有助于分析矿床水文地质条件。调查内容主要有:泉的成因、出露标高和层位,泉水流量、水温、物理化学性质及动态变化。在地下水天然露头较少的地区,着重调查人工揭露点,测定地下水水位、水质和水量;了解与其有关含水层的岩性、厚度和富水性。

**植被调查** 通过调查地表植物的发育状况,植物的种类及分布特征,分析地下水的富集程度、埋藏深度以及矿化度等特征。植被通常是潜水分分布的标志,特别是在干旱半干旱的草原、沙漠、滨海平原区,这项调查更是水文地质测绘的重要内容。

**其它地质现象调查** 主要调查内容有滑坡,土壤沼泽化、盐渍化,多年冻土区的冰锥、冰丘及其它与地下水活动有关的自然地质现象;人类活动对水文地质环境条件的影响;煤矿开采所引起的浅部水源枯竭,地面塌陷与下沉、崩塌与滑坡等环境地质现象以及地表水和地下水的环境质量。

水文地质测绘的比例尺和工作程度,根据煤炭资源勘探阶段和水文地质条件复杂程度确定。水文地质测绘以地形地质图作底图,其比例尺等于或小于地形地质图的比例尺。未进行过相应地质测绘的地区,都进行地质—水文地质综合测绘工作。一般煤炭资源普查阶段,水文地质测绘的比例尺为 $1:50000\sim 1:25000$ ;详查阶段,为 $1:25000\sim 1:10000$ ;精查阶段,为 $1:10000\sim 1:5000$ 。水文地质测绘的工作范围,根据勘探目的、精度及矿床水文地质类型确定,一般不小于煤炭资源勘探相应阶段的地质测绘范围,普查阶段一般包括一个完整的水文地质单元,详、精查阶段一般包括疏排地下水后可能出现的人工流场所涉及的范围。

水文地质测绘工作分为准备工作、野外工作和室

内资料整理三个阶段。准备工作包括收集资料、现场踏勘、编制设计书以及测绘水文地质基准剖面、统一工作要求等内容。野外工作主要是通过对观测点和观测线的观察、描述、测量以及水样、岩(土)样的采取等方法,来获取各种水文地质资料,绘制各种原始水文地质图件。野外观测线、观测点,根据测绘比例尺的大小和测区水文地质条件复杂程度,结合地质、地貌特征布置。主测线一般沿地质和水文地质条件变化最大的方向布置,以便控制区内地层、构造、地貌及含水层的界线,获得全区整体概念,一些关键地段,用加密点、线控制,必要时布置辅助观测线,避免遗漏重要的水文地质现象和重要的地下水露头。各类型充水矿床,不同比例尺的水文地质测绘,其观测点、观测线的密度应符合有关规程的规定和设计书的要求。观测点以自然露头及已有的人工揭露点为主,必要时可布置少量钻孔、探槽、浅井等。

(高洪烈)

shuiwen dizhi kantan

### 水文地质勘探 (hydrogeologic exploration)

在煤炭资源勘探阶段为查明煤田水文地质条件,对地下水及其有关的各种地质条件进行的勘探工作。其任务是在查明煤田水文地质条件的基础上,分析矿床充水因素;预计矿井涌水量;预测矿井疏排地下水后可能产生的水文地质和工程地质问题,为矿井设计提供必要的水文地质资料;对地下水的防治和综合利用以及环境保护提出建议。

煤田水文地质勘探通常和煤田地质勘探结合进行,其工作程度和内容与其对应的勘探阶段相适应。

(1)找煤阶段水文地质工作内容。初步了解工作地区自然地理条件、第四纪地质、地貌和水文地质情况。

(2)普查阶段水文地质工作内容。①初步了解老窑、小煤矿和生产矿井及其采空区的分布、范围和有关水文地质情况。②了解自然地理条件、第四纪地质、地貌特征,含(隔)水层的层数、岩性、厚度、产状及分布;了解可能对矿床开采有重大影响的含水层的富水性,地下水的补给、排泄条件;了解普查区供水水文地质条件,指出供水水源勘探方向。

(3)详查阶段水文地质勘探工作内容。①初步查明直接充水含水层的岩性、厚度、埋藏条件、含水空间的发育程度及分布情况,地下水水位、水质,含水层富水性及其变化情况,地下水的补给、排泄条件,详细了解间接充水含水层的岩性、厚度、埋藏条件、富水性、含水空间的发育程度及分布情况;②初步查明直接充水

含水层与可采煤层之间隔水层的厚度、岩性组合及其物理力学性质,直接充水含水层与间接充水含水层、地表水三者之间的水力联系,详细了解对矿井(坑)水有影响的断裂带的水文地质特征;③调查老窑、小煤矿和生产矿井的分布及开采情况,圈定采空区,了解老窑的积水情况,了解生产矿井和小煤矿的涌水量、水质及其动态变化,分析其充水因素;④对区内可供利用的供水水源的水量、水质作出初步评价。

(4) 精查阶段水文地质勘探工作内容,在拟建大、中型矿井的井田,①查明直接充水含水层和间接充水含水层的岩性、厚度、埋藏条件,地下水水位、水质,含水层富水性或导水性,基本查明直接充水含水层含水空间的发育程度及分布状况以及强径流带的分布范围;②查明直接充水含水层与可采煤层之间隔水层的厚度、岩性组合及物理力学性质,查明直接充水含水层、间接充水含水层、地表水三者之间的水力联系以及地下水的补给和排泄条件,基本查明间接充水含水层对直接充水含水层的补给途径和部位以及可能的最大补给量等;③基本查明对矿井充水有影响的断裂带的水文地质特征;④详细调查老窑、小煤矿和生产矿井的分布和开采情况,尽可能控制老窑采空区范围,并评述其积水情况,详细调查生产矿井和小煤矿的涌水量、水质及其动态变化,分析其充水因素;⑤基本查明直接充水含水层向矿井充水的途径,评价矿井充水因素,预计第一水平或首采区的涌水量,对在开采过程中可能发生大量突水的层位和地段,以及矿井开采后可能引起的水文地质、工程地质条件变化及其后果进行评述;⑥对井田内可供利用的地下水的水量、水质作出评价;⑦评价矿区环境水文地质质量,预测可能产生的环境水文地质问题,并提出防治建议。在拟建小型井的井田,其工作内容及工作程度根据实际需要,参照上述要求确定。

(5) 普终及详终阶段水文地质勘探的工作内容,根据实际需要,参照精查阶段的要求确定。

煤田水文地质勘探方法,根据煤矿床水文地质类型确定。通常是在研究地质和区域水文地质条件的基础上,把含水层的富水性、导水性,地下水的补给和排泄条件及向矿井充水的途径视为一个整体进行工作,注重研究含水层和隔水层,注意研究地下水自然流场的特点和矿床开采后自然流场可能产生的变化,抓住主要充水因素,确定水文地质勘探方法。

煤田水文地质勘探通常综合使用物探、钻探等多种水文地质勘探手段进行,同时充分利用煤田勘探的各种手段、工程及其所获资料,努力提高资料的分析研究程度。煤炭资源勘探各阶段工作结束,提交相应阶段

地质报告时,在一般情况下,水文地质内容只是作为其组成部分之一,在水文地质条件复杂,进行了专门水文地质勘探的矿区(井田),单独提交专门水文地质报告。

(高洪烈)

## shuiwen dizhi shiyan

**水文地质试验 (hydrogeological test)** 为取得岩(土)水文地质参数,查明水文地质条件和对地下水进行定量研究而进行的测试工作。其任务是为预算矿井(坑)涌水量,进行矿床地下水的防治及综合利用提供基础资料。

水文地质试验分为野外水文地质试验和室内水文地质试验。野外水文地质试验主要包括抽水试验、放水试验、注水试验、压水试验、渗水试验、地下水均衡场试验、联通试验、水质弥散试验等。这些试验是在现场对探测目的层位进行直接测试,其成果能比较真实地反映客观情况。野外试验条件愈接近矿床开采时的实际状况,则其成果的可靠程度愈高。室内水文地质试验包括模拟实验(水化学模拟、水力模拟、电网络模拟等)以及岩土水文地质参数测定,溶蚀实验等。

在野外水文地质试验中,抽水试验是使用得最多的一种,它适用于各种水文地质条件和不同的工作阶段。放水试验多用于煤矿井下。注(压)水试验是向钻孔内以一定的流量(水压)注水,抬高孔中水位,使水位稳定并延续一定时间,用以获取水文地质参数及其他资料,其工作步骤和试验方法基本和抽水试验相同。由于注水试验与矿床开采时地下水流场变化方向不同、且注水影响范围小,又易造成岩石裂隙淤塞,因而在煤田水文地质工作中采用不多,一般只用于地下水位很深或者试验目的层透水但不含水的条件下,代替抽水试验,近似地测定试验层的水文地质参数;有时,也用于研究地下水的人工补给和废水的地下处理。一般,压水试验主要用来确定岩石裂隙发育程度和透水性,以及隔水层的阻水能力。渗水试验是用以研究包气带岩(土)层透水性的一种简易方法,在浅试坑中进行的稳定渗流试验,它用于评价灌溉水、渠道水、河水、大气降水的入渗条件,估算入渗量。联通试验是通过研究地下水点之间或者地下水与地表水点之间的水力联系程度,寻找水流通道的一种有效方法,在喀斯特充水矿区矿床水文地质研究和矿井防治水工作中使用较多,用以确定矿区各含水层的水力联系,分析矿井充水水源等。联通试验方法有水位传递法和示踪试验法。水位传递法是通过在一些水点上突然改变水位(流量),观测另一些水点上的水位(流量)响应,确定水点间的水力联系。示踪试验则是在一些水点上,投放食用酵母

或石松孢子、食盐及染料、放射性同位素等指示剂,而在另一些水点上检测指示剂的到达时间和浓度变化过程及其它特征,用以判断这些水点间有无水力联系及其密切程度,测定地下水的实际流速。地下水均衡场试验是在一个独立水文地质单元内对地下水及有关影响因素(地表水、降水、各种水的渗入量等)进行长期观测,确定在某一时期(均衡期)地下水的补给、储存和排泄之间在数量上和质量上的变化关系,用以测定含水层的水文地质参数,评价矿井(坑)涌水量及可供利用的地下水资源。均衡场试验,首先要圈定统一、完整的均衡场,且其边界条件比较清楚,最好是自然边界,以易于进行均衡计算。其次,所建立的均衡方程(模型)符合实际,确定的均衡要素合理,所获得的数据准确与完整,这才能可靠地进行水均衡计算,求解某些水文地质问题。水质弥散试验又称物质迁移试验,用于确定物质迁移参数,预测地下水污染扩展过程。按试验时的渗流动态,可分为天然渗流场试验和人工渗流场试验。其原理是在一个钻孔中投放指示剂,在另一钻孔观测、监视其浓度变化。该试验的关键是要考虑观测钻孔的水化学惰性。由于钻孔容量有限,其中指示剂逐渐稀释,因此,钻孔中溶液浓度不同于真浓度值。

室内模拟实验能较全面地查明研究对象的实质,能估计大量过程形成因素对所研究过程的影响。可以考虑不同开拓方案、不同计算水平以及水文地质条件可能产生的变化,进行多方案对比,能解反演和正演问题。但是,在作模拟实验以前应对实际水文地质条件进行概化,据此构制模型,这种模型与实际情况可能存在一定的差异。实验成果的可靠性,取决于水文地质工作程度及模型的客观性。室内岩土水文地质参数的测定,由于测定条件与实际条件往往出入较大,其成果的可靠性稍差,但室内测试成本一般较低,可以多取一些样品,多作一些试验,取得较多的数据,在大范围内进行对比分析,以控制水文地质条件的变化。

(高洪烈)

## shuiwen dizhi wutan

### 水文地质物探 (hydrogeophysical prospecting)

根据地下水、含水层与非含水层自身及它们之间存在的物性差异,利用地球物理方法来间接判断水文地质特征的一种勘探手段,简称水文物探。其优点是设备简单,操作简便,作业成本较低,效率较高,能较快地连续控制测区概貌,指导专门水文地质勘探工程的设计与施工。它可用于①查明第四系孔隙含水层分布、厚度及埋藏深度,寻找古河道,区分并圈定咸、淡水范围;②探测基岩表面的起伏和埋深,确定隐伏构

造的位置,查明断层破碎带、裂隙发育带及喀斯特发育规律;③测定地下水流速、流向,分析地下水的补给、排泄和径流条件,圈出可能的富水地段或强径流带;④划分钻孔水文地质剖面,确定裂隙或喀斯特发育位置,划分咸、淡水界面,测定地下水矿化度,研究地下水运动特征。水文物探目前仍只能用来在特定地区解决特定的水文地质问题。

**方法** 水文物探可分为地面物探(主要是电法勘探和地震勘探)、测井(包括通用测井、井液电阻率测井和流量测井)和孔间物探(主要是无线电波透视)三大类。

**电法勘探** 是应用较广泛的一种水文物探方法。这首先是由于一些参数,如岩石的湿度,水的种类(结合水、自由水、硬水),水中杂质含量、地下水类型(孔隙层状水、裂隙层状水、裂隙脉状水等),会显著地改变岩石的电学特征。

岩石中水溶液的分布状态,是决定该岩石电阻率大小的因素之一。如果水溶液在岩石中呈分散和不连通的方式存在,则对岩层电阻率影响较小,而呈互连通状态分布时,则使岩层电阻率大幅度降低。

岩层电阻率与含水孔隙度有明显的关系,一般说,孔隙度小的岩石,电阻率较高,常可达数百欧姆米甚至数千欧姆米;而孔隙度大渗透性小的岩石(如粘土等),其电阻率较低,有数欧姆米到数十欧姆米的变化;对于孔隙度大而渗透性强的岩石(如砾岩、砂层等),其电阻率则随水文地质条件的不同而有较大的变化范围。当它们饱含矿化度高的地下水时,电阻率只有数十欧姆米甚至数欧姆米;干燥时,电阻率可达百欧姆米甚至数千欧姆米。

岩层电阻率与岩石的裂隙率、喀斯特发育程度有较大关系。在喀斯特发育地带,地下水面以下的岩层电阻率呈现区域性降低。在裂隙发育(如断层附近)的含水地带,岩层电阻率呈低阻反映。岩石的透水性决定于渗透系数,而渗透系数又与电阻率有相关关系,两个参数都取决于孔隙通道的单位面积和形状。

水文电法勘探方法,根据探测区水文地质条件和工作任务进行选择。

(1)在潜水分布地段,为划分含水层,圈定淡潜水和矿化潜水分布面积,研究潜水的动态,多采用垂向电测深法、垂向电测深—激发极化法及各种电测剖面法。

(2)在干旱地区勘探淡水透镜体,常采用垂向电测深法,频率电磁测深法、旋转磁场法、航空电法和无线电波法。

(3)在埋深大(100~300m)的自流水分布地段,多采用大极距垂向电测深法、偶极电测深法及电磁测

深法。

(4) 探查裂隙带、构造带和喀斯特带水,可采用联合电剖面法、线状或环形垂向电测深法、垂向电测深—激发极化法等。

**地震勘探** 近年来较好地用于水文物探。主要在巨厚新生界覆盖区探查新生界厚度和岩层结构,圈定新生界底部含水层分布及其厚度变化,了解基岩顶部风化状况等。在合适地区,可用地震勘探法探查奥陶系灰岩顶面深度及其与下部煤层间距,大致了解灰岩喀斯特发育状况。

**视电阻率测井和自然电位测井** 用于划分孔内岩层界面,确定含水层位置和厚度,划分咸、淡水界面,测定地下水矿化度。

**$\gamma$  测井** 其曲线主要反映岩层所含泥质的多少,据此可确定含水层和隔水层。

**$\gamma$ — $\gamma$  测井** 通过鉴别岩层的密度差异来划分钻孔剖面,确定破碎带。

**中子— $\gamma$  测井** 根据所测得的二次 $\gamma$ 射线强度来区分含氢量不同的岩层。由于岩石中的水是含氢量最多的物质,因此可根据中子— $\gamma$ 曲线变化,确定岩石的含水性质和孔隙度。

**井液电阻率测井** 其原理是,将钻井液盐化,使其与含水层中地下水的导电性存在一定差异,然后用钻井液电阻计在不同时间沿钻孔不同深度测量钻井液电阻率的变化,用以确定孔内各含水层的水文地质特点。该法又可进一步分为扩散法、注入法和提捞法。扩散法是在钻井液盐化后,观测在自然状态下钻井液沿钻孔不同深度电阻率的变化过程。而注入法和提捞法则是在钻井液盐化后,在向钻孔注水或从钻孔提水的条件下进行测量。这样,根据钻井液浓度,即电阻率变化曲线,即可划分渗透性含水层的界面和厚度,还可计算地下水的渗透速度或确定渗透系数。

**充电法测井** 用于确定地下水流向和流速,估计含水层的渗透系数;在条件有利时,可以用来探测喀斯特充水裂隙及地下暗河。其原理是,向钻孔中含水层段投放食盐,通过在地面测量等电位线随时间推移而出现的位移,来圈定随地下水流动的盐液在钻孔四周分布形状的变化。该法适用于非承压淡水含水层埋藏深度不大(100m以浅)的地段。

上述几种测井方法的缺点是,难于确定渗透性能微弱的含水层;当钻孔涌水量大,含水层层数多,或有其它复杂情况时,扩散法和注入法效果不好;而且所测定的参数为概值,测定涌水量误差较大。

**流量测井** 根据多含水层混合井流理论建立起来的一种孔中测流技术。它在钻孔抽水、注水、涌水、漏

水以及含水层间通过钻孔发生相互补给等有轴向水流运动的条件下,利用放在孔内的传感器,测量不同深度的流速,进而计算其流量,借以划分含水层和隔水层,测定含水层的厚度、渗透性能变化及有关参数;在钻孔揭穿多个含水层时,测定各含水层的分层流量,得到各含水层流量和水位降深关系曲线,取得分层水位和其它水文地质参数。

根据施测方法,流量测井又可分为连续测量、点测、定点持续测量等三种方法。连续测量,是在传感器恒速移动的同时,连续测量流量。其特点是施测时间短,易进行重复性检测,资料比较系统、完整,便于选择计算孔段,记录仪可以和煤田测井共用。点测,即将传感器分别静置在各个测点上,然后观测各测点上传感器叶轮所对应的转速,绘出转速随深度变化曲线。其特点是施工简单,适应性强,不用配备记录仪,施测仪器简单。定点持续测量,测点一般布置在钻孔孔壁比较完整的隔水层段内,并尽量使其条件与仪器标定条件相同,以利提高资料解释精度。定点持续测量可以保证重点孔段资料的完整性和精度,了解流量的变化过程。

流量测井仪所采用的传感器有叶轮式、热敏电阻式及其它形式,而以叶轮式居多。叶轮式传感器流量测井仪直接测得转速值,然后利用不同孔径中转速(或幅值)与流量的标定曲线,将其转换成流量值。

**孔间无线电波透视法** 近年来多用于在矿井防治水时探查石灰岩地区的喀斯特和构造破碎带分布特征。其原理是,把发射机与接收机分别置于有限距离的相邻两钻孔中,研究孔间岩石对电磁波的吸收性质。由于石灰岩为高电阻,因而根据钻孔测量场强曲线的低值异常,就可以确定充填有水和泥砂的溶洞等低电阻体的位置。仪器工作频率的高低,直接影响透视距离和识别异常的分辨力。频率增大,分辨力增高,但透视距离减小,反之,透视距离加大,而分辨力减低。因此,要根据工作区具体条件,合理确定工作频率。无线电波透视法目前主要采用同步法和定点法两种观测形式。同步法是指接收机和发射机分别在两个钻孔同时移动;定点法是把发射(或接收)机固定在孔中某一点,使接收(或发射)机在另一钻孔中移动并测量电磁波场强。一般,先进行同步测量,较快地发现异常,再在异常中心进行定点测量,了解异常的形态特征。

**特点** 水文物探方法象一般物探方法一样,是一种探索性较强的勘探手段,具较强的条件性和多解性,在实际应用时的特点是,①水文地质勘探对象与围岩之间要存在一定的物性差异,差异愈大,物探异常反映愈明显,解释可靠性愈大,这表明应根据具体矿区的实际条件,选用合适的水文物探方法;②相对于埋深,勘

探对象要具有一定规模,物探仪器才能检测出地球物理场的变化,并把有用异常从各种干扰中识别出来;③由于仪器、地下水和含水层地球物理条件、解释方法等多方面的限制,应注意采用综合物探手段取得多种参数,助长补短,互相验证;④要从已知到未知,逐步改进施工、资料处理与解释方法。

(高洪烈 胡丹九)

## shuiwen dizhi zuantan

### 水文地质钻探 (hydrogeological drilling)

应用钻探手段解决水文地质问题。水文地质钻孔除用于直接获取水文地质资料外,还用于水文地质试验和测井等工作。它是水文地质勘探最重要的技术手段,多在详查、精查阶段施工,而且是在充分研究水文地质测绘、水文地质物探和已施工各类地质钻孔的地质、水文地质资料的基础上,根据水文地质工作的要求而专门布置。

水文地质钻孔,按其任务可分为:抽水试验孔、长期水文观测孔、底板含水层延深孔、采样孔等。

不同任务的水文地质钻孔,其施工技术要求不尽相同,但都比普通地质钻孔复杂,即①钻孔孔径往往较大,结构较复杂;②都需下过滤器维护孔壁;③含水层(段)常需封闭止水,以隔绝与其它含水层(段)或水体的水力联系;④多用清水钻进,并必须冲洗钻孔,避免含水层(段)孔隙淤塞;⑤对岩心采取率的要求较高;⑥应进行简易水文地质观测工作。

水文地质钻孔施工前,应根据其任务编制施工设计,设计内容包括施工目的、任务、钻孔结构(孔径、换径深度、止水部位、止水材料等),孔深及终孔层位,钻进方法,冲洗液选择,施工技术;简易水文地质观测的内容及技术要求;是否进行水文地质测井及测井方法。

**抽水试验孔** 为求得含水层抽水流量和水位降深的关系;计算含水层的渗透系数、给水度、储水系数等水文地质参数;确定抽水时水位降落漏斗的影响范围;查明地表水与地下水或不同含水层之间的水力联系;查明含水层水质成分而施工的水文地质试验钻孔。抽水试验孔在施工中要求,①不改变或尽量少改变钻孔周围含水层的渗透性;②尽量减小孔壁或过滤器对水流运动的附加阻力;③一般采用清水钻进。只有在使用清水钻进确有困难的松散、破碎岩(土)层中,才允许使用泥浆钻进;④无论使用何种冲洗液钻进,在正式抽水前都必须采用有效的方法洗井,清除泥皮及孔壁沉淀物。洗井的方法有活塞法、空气压缩机法、液态 $\text{CO}_2$ 法等。洗井应进行到泥浆、岩粉全部排出地面,钻孔内

水澄清透澈为止,以尽量减小泥浆、岩粉对孔壁岩层渗透性的影响。

抽水试验孔试验层(段)孔径一般不小于108mm。当孔深较大时,应选择合理的钻孔结构和开孔孔径,在保证试验层(段)孔径的前提下,尽量简化钻孔结构。在孔壁易坍塌的试验层(段)要下入过滤器。过滤器根据抽水试验段的岩性选择。松散含水层处,过滤器外侧往往还需填砾。钻孔孔径的选择,还需考虑抽水试验层(段)的封闭止水要求、出水量和抽水设备的安装等因素。抽水试验孔一般都打穿所研究的含水层(段)。钻孔的封闭止水部位,应选择在孔壁比较完整的隔水层(段)内,并根据抽水试验的要求和具体情况,选择合适的止水方法和材料。封闭止水后,应检查止水效果并记录。过滤器根据含水层的孔隙性质和粒度成分选择,一般有缠丝过滤器、纱网过滤器、筛网过滤器等类型。抽水试验孔试验层(段)和封闭止水层(段)钻进时必须采取岩心,其采取率要达到规程和设计要求。抽水试验观测孔一般也应采取清水钻进,有效地洗井。下入观测管时,管径一般不小于73mm。

长期水文观测孔 用以定期测定地下水水位、水质和水温,观测地下水动态,以便为地下水资源评价及其它水文地质计算提供基础资料的专门水文地质钻孔。其洗井要求严格,封闭止水应长期有效,并应建立钻孔资料卡片。

底板含水层延深孔 为揭露煤层底部可能向矿井(坑)充水的含水层,了解其特征并对其与煤层间隔水层的岩性组合、断层及裂隙发育程度以及隔水性能进行研究而施工的钻孔,多利用地质钻孔延深。为了解煤层下伏直接充水含水层的富水性,这类钻孔揭露含水层的厚度一般不小于50m,可按实际需要确定,但也不宜过大。

采样孔 用来采取岩(土)样,供室内进行水文地质分析和试验的钻孔。其施工关键是提高岩心采取率和尽量保持岩心的天然状态及完整性,所采岩(土)样品要不失水、不风化、不污染。

水文地质钻探可以使用普通岩心回转钻机,也可使用转盘式钻机、专用岩心回转钻机和钢丝绳冲击钻机等水文地质专用钻机,有的钻机兼有冲击、回转等多种功能。应根据钻孔深度、孔径、岩层岩性及其它技术要求选择钻机和钻进方法。深度大时,可用一般孔径或用逐级扩孔施工的大孔径岩心回转钻进;打大孔径钻孔时,可采用转盘式钻机;钻进卵石层时,可采用机械冲击回转钻进;在岩层严重漏水地区及冻土地区施工,可采用空气钻进。

水文地质钻孔在施工过程中,一般都要进行简易



水文地质观测工作。其内容主要包括对岩心进行水文地质描述与鉴定,观测钻孔水位的变化,观测冲洗液消耗量的变化,对钻孔涌水、涌气及油、气显示进行观察与描述,对钻孔、岩心所见溶洞、裂隙、老窑、流沙等情况进行描述和观测。观测内容随钻孔目的不同而分别选定。

(高洪烈)

shunbian diancifa

**瞬变电磁法** (transient electromagnetic method, TEM method) 又称感应脉冲瞬变法、瞬变场法。

一种时间域交流电磁感应电法勘探方法。它利用不同岩石、矿石电导率和磁导率的差异,通过向地下发射一次脉冲感应磁场,使地下良导电地质体感应产生瞬变涡流电磁场(即瞬变二次场),断电后,测量二次场,并根据其特征和分布规律来寻找有用矿产和解决有关地质问题。

**优点** ①它是在一次场断电后观测二次场,对良导电地质体异常反映灵敏,体积效应和侧向影响相对较小。②野外装备比其它电测深法简单,用人少,成本低,工作效率较高。③探测深度可达 1000 多米,能够满足一般矿产勘探需要,特别是在高电阻层覆盖下寻找低电阻的地质体,比其它物探方法有明显优越性。

**缺点** ①观测信号弱,勘探深度加大时信噪比低。②深度解释的精度有待提高。

**研究概况** 20 世纪 30 年代开始瞬变电磁法的理论研究。60 年代初,苏联最早研制出相应的仪器并开展了野外试验。70 年代初,欧美国家也研制出有关仪器并在寻找金属矿产、石油、煤炭等方面应用。

中国于 20 世纪 70 年代初引进这一方法和仪器。开始,用以寻找金属矿,随后,在水文地质和煤田地质勘探领域进行了试验和应用。80 年代后期,研制出微机控制的新式仪器。

**瞬变电磁仪** 主要由发射机和接收机两部分组成,或装在一个箱体内,或分别装入两个箱体。

(1)发射机。其功用主要是把直流供电电源变换为固定频率的双极性矩形波或梯形波,将强电流供给铺设在地面的发射线框,自动控制通电和断电时间,显示供电电流强度值(以 A 为单位)。

(2)接收机。它是仪器的主要部分。其功用是,当发射机断电后,通过地面接收线框接收地下导电地质体感应生成的二次场电信号。该信号随延迟时间增大而迅速衰减(图 1)。接收机按固定的时窗宽度和起止时间对接收信号进行采样。每一个主延迟时间对应一个测量道,一般仪器有数十个测量道。将各道信号放

大、叠加(最多可叠加 9999 次),可得出观测的电压值。该值可从仪器的液晶显示器读出,并可存储于仪器内,通过标准接口传输到外接计算机进行数据处理。由于接收信号弱(一般为  $\mu\text{V}$  级),接收机普遍具备滤波、叠加、抑制工业用电及天电干扰等功能,以尽可能地消除干扰,提高信噪比。在地面发射、钻孔中接收时,要配备能投入钻孔的接收探头。

新型仪器普遍配备有微处理机,用程序控制仪器的工作参数和工作过程。

**配套设备** 包括电源箱、发射和接收用框形导线等。有时采用大小和形状都固定的接收线框。

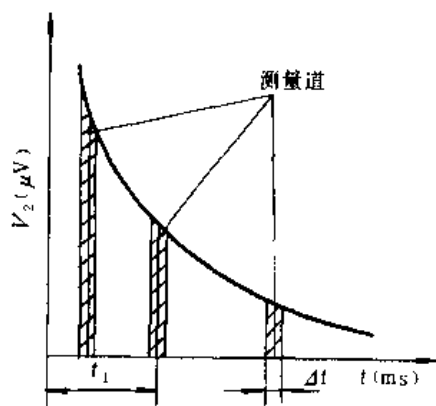


图 1 测量接收信号示意图

$V_2$ —接收的二次场电压;  $\Delta t$ —采样时窗宽度  
 $t$ —发射断电后的延迟时间;  $t_1$ —测量道的延迟时间

**工作方法** 野外观测时,在地面铺设用导线制作的矩形发射线框和接收线框,以蓄电池或发电机作电源,向发射线框供入低频短脉冲交流电(一般为 10~30A,其值与探测深度成正比)。发射线框感应生成电磁场并向地下发射,当导电性差的地下介质中存在良导电的地质体时,因涡流作用产生二次电磁场。一次场断电后,地面接收线框受二次电磁场作用产生感应电动势  $V_2$ ,并由接收机测出。该值是二次场的垂直分量,与良导电地质体的性质、大小、埋深、产状等有关。通过整理、分析观测数据,可确定被探测良导电地质体的位置、分布范围和形状。由于二次场的感应电动势  $V_2$  与产生一次场的供电电流强度有关,为使各测值具有可比性,应使测值归一化,因而作图时实际使用的参数是  $V_2/I$  值( $I$  为供电电流强度)。

瞬变电磁法的野外工作方法按线框布置方式不同,可分为重叠回线法或框内回线法、分离回线法和框一回线法三种(图 2)。

**重叠回线法** 发射线框和接收线框重叠在一起布设,有两种,①共用同一线框,称共圈回线法;②在发

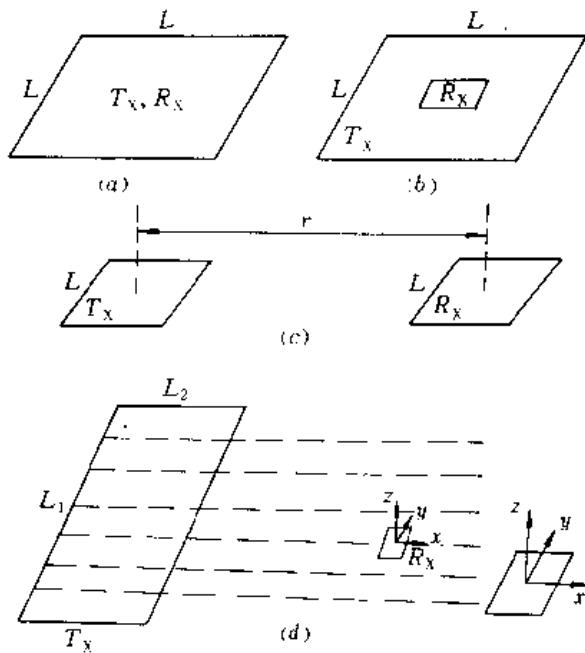


图2 地面瞬变电磁法常用装置示意图

$L$ —线圈边长;  $T_x$ —发射线圈;  $R_x$ —接收线圈;

$r$ —发射线圈和接收线圈中心点间距;  $a$ —重叠回线装置;

$b$ —框内回线装置;  $c$ —分离回线装置;  $d$ —框一回线装置

射线框内设置具有共同中心点的小接收线圈,称框内回线法。观测时,两种方式的发射线圈和接收线圈都沿测线同时逐点移动。

**分离回线法** 发射线圈和接收线圈分别布设,两者中心点间距离为 $r$ ,测线与两线圈中心点的连线重叠。测量时,两线圈保持 $r$ 距离同时沿测线移动,逐点观测。距离 $r$ 根据探测深度确定。

**框-回线法** 发射线圈边长很大,各测线垂直 $L_1$ 边平行布置,测量时,发射线圈固定不动,接收线圈沿每条测线移动,逐点观测。

上述布置方式,根据探测对象性质、地质任务、地形条件等因素具体选择。其中,以重叠回线法和框内回线法使用较多。

瞬变电磁法还可采用在钻孔中观测的方式,即在地面设置发射线圈,将接收线圈用探管投入钻孔内移动,逐点观测,用以勘探地面与钻孔之间的良导电地质体、断裂带等。

**资料解释** ①按测量道分别将测线上每个测点的各观测值(单位为 $\mu V/A$ )连接成断面曲线图,并使延迟时间大小与探测深度相对应。②根据断面曲线图分析地层的正常场和由异常地质体产生的异常场,确定

探测对象是否存在,以及其位置和范围。③根据有异常反映的测量道观测值,构制各道的等值线平面图。④通过对断面图和研究平面图中异常的特点,确定探测对象的平面位置、分布范围及其形态。⑤按定量计算公式,可粗略确定探测对象的埋藏深度等参数。解释的关键是,正确区分由地质体产生的异常和各种干扰因素,以及正确判定地质体的属性(矿体、断层、灰岩溶洞等)。

**应用概况** 瞬变电磁法的突出特点是,在不良导电围岩中寻找良导电、高磁导率的地质体。它在寻找金属矿床方面取得了良好效果。由于测深技术的发展,该法现已扩大应用于构造填图,寻找地下水,探测冰层和冻土厚度,以及进行油气田、煤田和地热勘探等领域。在煤田地质勘探中,它可用于在推覆体下和火山岩下找煤;探测石灰岩喀斯特裂隙发育带、充水断层、喀斯特陷落柱以及老矿采空区等。

(黄治平)

## sitanhua zuoyong

**丝炭化作用 (fusinization)** 在泥炭化阶段,高等植物遗体中的纤维素和木质素等,在比较干燥的氧化条件下腐朽,或因森林起火,转变为富碳、贫氢组分的作用。其实质是植物木质纤维组织在微生物作用下,失去被氧化的原子团而脱氢、脱水,形成相对高碳、低氢、高芳构化、高反射率的丝炭化物质。

丝炭化作用过程比较复杂,主要包括炭化、氧化、干燥、真菌腐蚀等。

**炭化** 部分丝质体和半丝质体与森林火灾或泥炭火灾有关。森林大火导致局部缺氧,常造成高等植物不完全燃烧,或在沼泽中,泥炭火灾也会因沼泽潮湿而停止,都会形成细胞结构清晰、细胞壁很薄、具有高反射率和高突起的火焚丝质体。经电子自旋共振方法研究证实,这种丝炭在沉积前曾经受过 $400\sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温的影响。据扫描电子显微镜观察,由自然失火和人工炭化产生的木炭,其大小、形状和光学反射率相似,证实丝炭的火焚成因。

**氧化** 木质纤维组织在沉积前或在泥炭表层,受到脱水和缓慢的氧化作用,形成暗色疏松多孔的朽木,被埋藏后,就会转变成氧化丝质体。在显微镜下其特点是细胞结构保存较差,外观呈白色,反射率较低,与半丝质体相近,并往往分布于暗煤中。

**干燥** 在沼泽覆水由深变浅,沼泽表面变得比较干燥,氧的供给较为充分的情况下,木质纤维组织受到氧化作用,脱氢、脱水而形成丝炭化物质。这种丝质体在泥炭沼泽中展布较广,在空间上呈断续面状分布。

**真菌腐蚀** 有些丝质体和半丝质体,可能是在原来植物中生成的。在第三纪褐煤树皮结构腐植体中曾发现有半丝质体反射率带与腐植组反射率带交替出现,而未见有过渡情况。这表明,丝质体和半丝质体的细胞壁在植物中就已存在。

一些浸透树脂的木质纤维组织,保存有较好的细胞结构,具有较低的反射率,是在煤化作用初期生成的后生丝质体。

此外,还有一些丝炭化物质的形成过程与上述不同。它们往往先经过不同程度的凝胶化作用,后来由于

沼泽转变为氧化环境,又经受丝炭化作用,原先凝胶化植物组织即因脱氢、脱水而向丝炭化物质转化。这一转化过程如果进行得彻底,则可形成丝质体、木质镜煤丝炭体等组分,凝胶化基质可以转变为丝炭化基质体;如果后期丝炭化作用进行得不彻底,则形成一系列的过渡产物,成煤后可形成半凝胶化物质和半丝炭化物质。

丝炭化作用是不可逆的过程。经过充分丝炭化作用而形成的丝炭化物质,即使再遇到适于进行凝胶化作用的条件,也不能再发生凝胶化作用。

(尹善春)

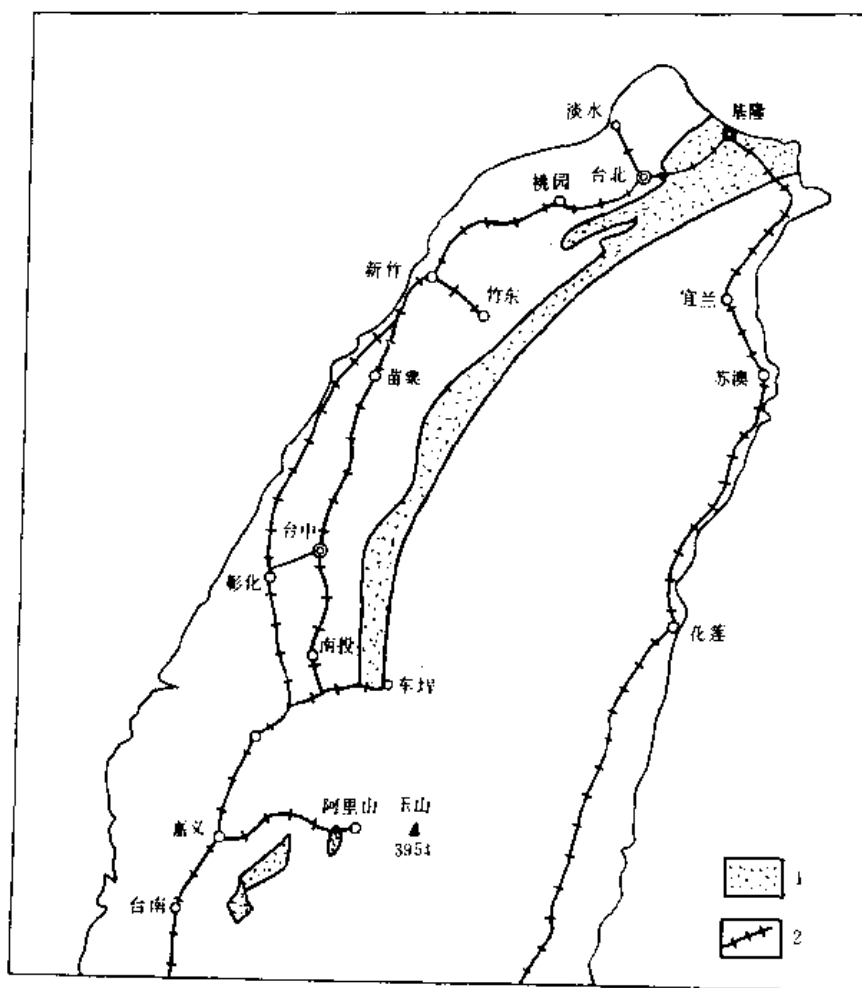
## T

Taiwan Meitian

**台湾煤田** (Taiwan Coalfield) 中国台湾省的地槽型第三纪煤田。它位于台湾中央山脉西麓的中、北段，自北向南穿越基隆、台北、桃园、新竹、苗栗、台中、南投、嘉义、台南等县、市，总长 230km，呈断续的弧带状（下图），煤田所在区域人口稠密、经济发

达，但煤炭资源相当有限，经半个多世纪的高强度开发，即将采尽。

**地质构造** 台湾中央山脉由下第三系变质岩系构成，山体系老、新第三纪间的褶皱造山运动时隆起。其西麓的煤田区，主要由一套厚逾 10000m 的上第三系类地槽型沉积岩组成。第三纪末，煤系又遭受强烈构造



台湾煤田交通位置示意图

1—中新统煤系分布区；2—铁路

变动,一般呈倾伏褶曲及短轴状褶曲产出,煤层除局部属缓倾斜外,大部为倾斜至急倾斜,构造复杂程度中等。更新世的岩浆活动,部分以浅成侵入体形式影响煤层。

**煤系** 台湾煤田的含煤地层为晚第三纪中新统煤系。内含三个煤组,层序如下:

|     |    |                     |
|-----|----|---------------------|
| 中新统 | 上部 | 桂竹林组, 厚 1300m       |
|     |    | 南庄组 (上含煤组), 厚 1000m |
|     | 中部 | 南港砂岩, 厚 600m        |
|     |    | 湊合组, 厚 300m         |
|     |    | 石底组 (中含煤组), 厚 450m  |
|     |    | 大寮组, 厚 550m         |
|     | 下部 | 木山组 (下含煤组), 厚 600m  |
|     |    | 五指山组, 厚 1000m       |

中新统是浅海—滨海相砂岩、页岩及石灰岩的互层,岩性比较单调但延展稳定,海相层所占比例由南向北递减,煤层则由北向南变少、变薄。煤系中煤线及薄煤层多达百层以上,按 0.25m 为最小可采厚度,各含煤组的可采煤层情况为:

(1) 木山组。含可采煤层 2~3 层,分布于煤田北段基隆—台北一带;桃园以南无可采层。

(2) 石底组。含可采煤层 1~6 层,分布于煤田中、北段,以基隆—台北一带发育较好;苗栗以南无可采层。

(3) 南庄组。全煤田均发育可采煤层,以新竹、苗栗附近较好,含可采煤层 2~4 层,向南、向北可采煤层数均减少。

**煤炭资源** 台湾煤田原赋存煤炭资源量约 0.4Gt,经长期开采,目前保有储量仅约数兆吨。煤种以长焰煤及气煤为主;新竹县东的嘉乐煤矿和苗栗县东的南庄煤矿,曾产出良好的煤焦用煤;基隆的金瓜石、武丹坑矿,曾产出无烟煤、贫煤。总的讲来,煤灰分中至低,硫分多中等偏高,固定碳较高,为 30%~50%,发热量为 22.7~31.5MJ/kg。

**开采地质条件** 台湾煤田煤层普遍极薄,一般单层厚度为 0.3~0.6m,但稳定性极好,构造亦较简单,通常以 0.25m 为最小可采厚度,采出率相当高。南庄组和石底组的煤,风化自然速度较快。

**开发概况** 基隆附近在明代起即有手工采煤,19 世纪中叶已有小煤矿 40 多处。1874 年,清朝两江总督沈葆楨筹建官办基隆煤矿,1878 年正式投产,日产 300t,是中国第一个近代煤矿。1894 年台湾沦陷后,日本人对全煤田进行高强度开采,到 20 世纪 40 年代,年

产量达 2.00~3.00Mt,成为台湾主要出口物资之一,其创汇价值一度与茶叶、水果分列为前三名。1945 年光复后,煤田年产量多年维持在 3.00~5.00Mt 间,在 20 多年里自给有余,尚有出口。到 70 年代,由于煤炭资源枯竭,产量逐年下降,1972 年起台湾煤炭不敷自用,开始进口;1989 年产量跌到 1.00Mt 以下;1991 年仅产煤 0.40Mt,台湾用煤 98% 需靠进口。预计在 2000 年前后,台湾煤田内的煤炭开采活动行将终止。

(王煦曾)

## tancai duibi

**探采对比** (correlation of exploration and mining information) 又称采勘对比,矿井开采后所获地质资料与煤田地质勘探所获地质资料的比较。它对检验煤田地质勘探资料的误差,探索其产生原因,总结勘探工作经验和指导矿井地质勘探工作,都具有重要的作用。同时,通过对比分析,还可进一步加深对该矿井地质面貌、特点的认识,为研究矿区、区域地质条件奠定资料基础。

**对比内容** 主要包括地质构造、煤层、储量、瓦斯、水文地质和工程地质等影响煤矿生产建设的地质条件。

**地质构造** 对比煤层产状变化,断层条数、位置、性质、产状和断距,褶曲个数、位置、形态、方向、规模,节理组数、产状、密度,火成岩体产状、规模、岩性、对煤层的影响范围和程度等。

**煤层** 对比煤层层数、层位、形态、厚度、结构、煤岩、煤质及它们的变化等。

**储量** 按块段对比各级储量的误差率。

**瓦斯** 对比勘探预计瓦斯量与矿井实际瓦斯涌出量的差异,瓦斯等级。

**水文地质** 对比含水层层数、层位、类型、厚度、涌水量、水质,老窑水深度和范围,矿井预测与实际涌水量,突水区预测的可靠程度等。

**工程地质** 对比煤层顶底板物理力学性质。

**其它** 对比陷落柱的发育程度、分布情况和对煤层破坏范围等。

## 对比方法

(1) 收集勘探与开采资料,编制各种对比图表。

(2) 检查勘探资料误差并分析其产生原因。

(3) 总结经验教训。

(龙荣生)

tansuanyan huanpo chenjitixi

**碳酸盐缓坡沉积体系** (carbonate ramp depositional systems)

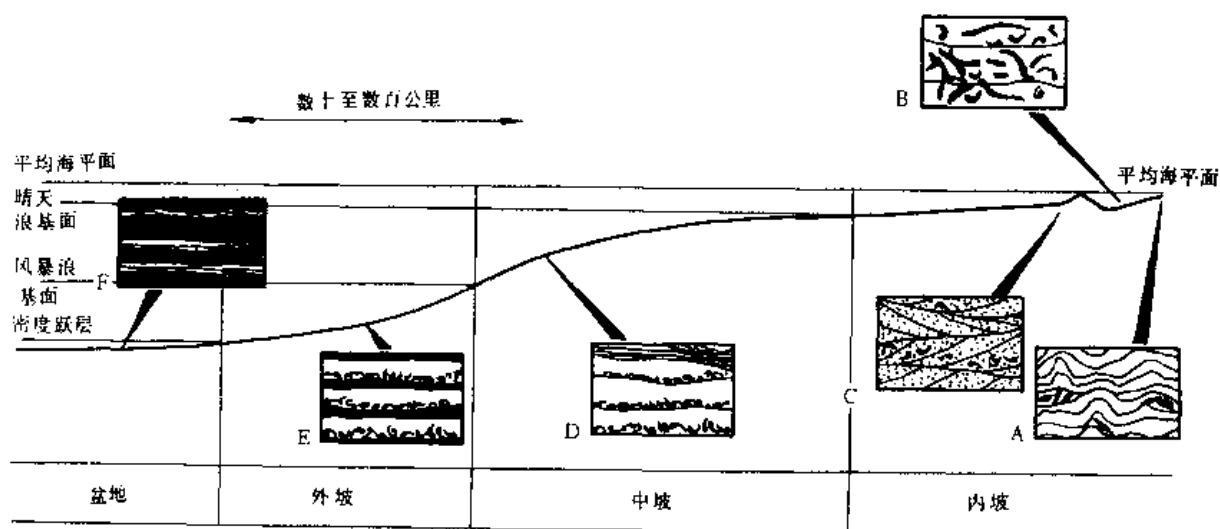
从海岸到盆地沉积表面坡度极缓(小于 $1^\circ$ )大陆架缓坡浅水环境内形成的一套有成因联系的碳酸盐沉积相的组合。

20世纪六七十年代在对现代碳酸盐海岸大陆架的研究中建立了碳酸盐台地沉积模式(Wilson等, 1975), 即台地边缘有生物礁形成的障壁岛, 或有碳酸盐浅滩镶边, 台地内有广阔且平坦的浅水碳酸盐、低能潟湖和碳酸盐潮滩, 通常所指的有碳酸盐沉积的浅海环境。镶边的礁或浅滩向海盆方向有一陡坡通向深水盆地, 从台地上崩落的浅水碳酸盐在陡坡外可发生再沉积。鉴于很难用碳酸盐台地模式概括古代陆表碳酸盐沉积的特征, Ahr (1973) 又提出碳酸盐缓坡的术语, 用来描述从滨海波浪作用的浅水逐渐过渡到低能的深水环境, 沉积物表面坡度极缓(一般小于 $1^\circ$ ), 不存在明显坡折的碳酸岩沉积体系; 而将上述有生物礁或浅滩镶边、前缘有陡坡的碳酸盐台地称为碳酸盐陆架或镶边陆架沉积体系。至于碳酸盐台地这一术语, 现

已演变为统指所有浅水碳酸盐沉积, 包括缓坡、镶边陆架和孤立的岩隆, 特别是某些一时尚难确定其沉积环境的碳酸盐沉积的非正式术语。

**碳酸盐缓坡的沉积特征** 对比古生代和中生代世界缓坡碳酸盐沉积体系与生物礁和浅滩镶边的碳酸盐陆架沉积体系, 两者的区别是, ①缓坡碳酸盐沉积物表面坡度极小; 而镶边陆架碳酸盐沉积物表面则存在明显坡折。②缓坡不存在生物礁。③缓坡近岸内坡相碳酸盐产率比镶边陆架台地顶部少。④海平面略有下降时, 缓坡相带向海盆方向迁移, 不会同时完全暴露, 而镶边陆架的台地表面会全部暴露。⑤当海泛缓慢发生时, 缓坡不会象镶边陆架的台地那样突然被海水淹没, 而是被缓慢逐渐淹没, 有利于潜水面的不断上升, 使泥炭沼泽环境得以长期持续, 形成厚煤层甚至巨厚煤层; 而易被海水突然淹没的镶边陆架上则很难形成厚煤层。

**碳酸盐缓坡的沉积相** 碳酸盐缓坡上的沉积作用随水深、水温 and 波浪、潮汐作用强度的变化而异, 主要的沉积相有内坡相、中坡相、外坡相和盆地相等(下图)。



碳酸盐缓坡的主要沉积相

A—内坡相潟湖潮滩沉积; B—内坡相潟湖沉积; C—内坡相高能浅滩或障壁岛沉积;

D—中坡相; E—外坡相; F—盆地相

(据 Burchette 和 Wright, 1992)

**内坡相** 上临滨(海滩或潟湖滨线)和正常浪基面之间的缓坡沉积作用带。此带内海底经常受波浪作用的搅动。它主要包括潟湖潮滩沉积、潟湖沉积和高能浅滩或障壁岛沉积。

**潟湖潮滩沉积** 潮湿气候条件易演化为沼泽和泥

炭沼泽; 干燥气候条件下易演化为有叠层藻和蒸发盐的盐沼。

**潟湖沉积** 有生物搅动的和各种层状潟湖碳酸盐泥、泥粒灰岩和粒泥灰岩。

**高能浅滩或障壁岛沉积** 常受波浪搅动, 临滨或

浅滩具交错纹层的鲕粒或生物碎屑的颗粒灰岩和泥粒灰岩。

**中坡和** 正常浪基面至风暴浪基面之间的缓坡沉积作用带,以风暴浪的沉积作用占优势,海底沉积物主要受风暴浪和升浪作用的影响,沉积物主要是混合的粗粒,有递变层理的风暴岩,常有丘形交错层理的碳酸盐沉积物。

**外坡和** 风暴浪基面以下的缓坡沉积作用带,偶有风暴作用的影响,沉积物几乎没有直接受风暴再作用的证据,但上部可能有稀疏的具递变层理的细粒远端风暴岩,下部可能为缺氧的深水泥质沉积岩与纹层状灰岩的互层。缺氧环境由盆地水的密度分层引起。

**盆地和** 沉积物一般缺乏粗粒的风暴岩,缓坡至盆地中几乎都缺乏浊流沉积。深水快速沉降的盆地可能出现硅质细碎屑沉积物;浅水盆地可能为其生物搅动构造的钙质泥岩,受限制的盆地外坡和盆地中心可能均为具旋回性的富有机质泥岩组成。

上述各种相带之间是渐变、互相过渡的。

中国华北石炭二叠纪煤系中的碳酸盐岩即属碳酸盐缓坡沉积体系。

(李宝芳)

tansuanyan lujia chenjitixi

**碳酸盐陆架沉积体系** (carbonate shelf depositional systems) 又称镶边陆架沉积体系,从海岸到大陆架明显坡折处之间(宽10~1000km)浅水环境下形成的一套有成因联系的碳酸盐沉积相的组合。其碳酸盐沉积物表面的坡度在较短距离(数米至数百米)内可由1°左右变化到近直立。这种大陆架浅水区比较平坦,但沿大陆架边缘发育连续或不连续的生物礁或碳酸盐砂质浅滩等障壁,障壁后为大陆架潟湖。

**特点** (见碳酸盐缓坡沉积体系)。

中国广西二叠纪合山组中的碳酸盐岩即属碳酸盐陆架沉积体系。

(李宝芳)

tianranjiao

**天然焦** (natural coke) 具粘结性的烟煤受岩浆直接接触在自然条件下焦化的产物。煤经地下自然也能生成天然焦。直接接触或侵入煤层的浅成岩体多形成岩墙、岩脉、岩床等产状,其中除岩床外一般影响范围很小。岩浆侵入的温度在1000℃以上,煤受热的时间相对较短。从岩浆与煤接触处向外,依次形成天然焦与侵入岩混合带、天然焦带、煤焦混合带、高变质

带,再往外则为未受接触变质影响的正常煤。天然焦的宏观特征与人工焦炭相似,浅钢灰色到灰黑色,暗淡或略显似金属光泽,条痕黑灰色,质地致密坚硬,多有垂直于接触面的六方柱状节理。但其矿物质含量高,相对密度大。中国山东省燕山晚期岩浆侵入煤层生成的天然焦,从接触带往外依次分为致密焦、砾状焦、柱状焦和粒状焦四种类型。

**致密焦** 距火成岩侵入体最近,灰色,致密,坚硬,相对密度大,矿化程度高,加热后强烈爆裂的天然焦。

**砾状焦** 位于致密焦外侧,呈角砾状,砾多为矿物质、丝质体和碳质页岩。

**柱状焦** 位于砾状焦外侧,与人工焦相似,具典型的柱状节理且多呈六方柱状。柱状的长轴垂直侵入体的接触面,加热易爆。

**粒状焦** 位于柱状焦外侧,焦化程度较低,强度亦低,节理不发育,染手,加热微爆或不爆。

上述四种天然焦不一定在同一剖面中都出现,不少剖面中见不到致密焦和砾状焦。若火成岩侵入体很小时,柱状焦也不易见到。

褐煤和无烟煤被岩浆侵入或接触时,变化情况不同。褐煤表现为大量失水、产生裂隙,裂隙内充填大量矿物质;不因受高温而具塑性,仍可保存植物结构。无烟煤表现为几乎不软化,更趋向转变为超无烟煤,具有高度的光学各向异性。

#### 参考书目

E. 斯塔赫等,《斯塔赫煤岩学教程》,杨起等译,煤炭工业出版社,1990。

(杨 起)

tong chenji gouzao

**同沉积构造** (syndepositional structure)

盆地内含煤岩系沉积充填过程中形成的褶皱和断裂。由于这些构造在沉积同期活动,因而不保留着其特有的形态,而且对沉积厚度和沉积相起控制作用。

同沉积褶皱中较易识别的是同沉积背斜,因为它们具有顶薄的特征,这是由于在含煤岩系沉积过程中该处相对上隆而形成,与沉积后的构造变形无关。阜新煤盆地的东梁背斜(图1),今为一短轴构造,经地层厚度分析以及沉积相与煤层变化研究,揭示出含煤岩系形成过程中这一背斜构造即已形成雏形。煤层厚度向背斜顶部方向变薄。同沉积向斜的特征与之相反,即翼部薄、核部厚。在识别时,必须查明此种变化不是沉积后变形所引起。

同沉积断层在煤盆地中更为常见,其特征是断层两侧沉积厚度、岩相和地层结构均有明显差异(图2、



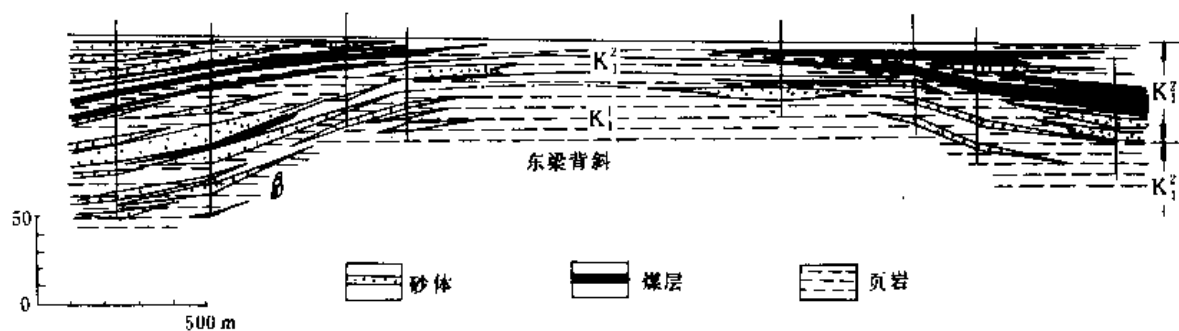


图1 中国辽宁阜新煤盆地沉积断面图显示的东梁同沉积背斜

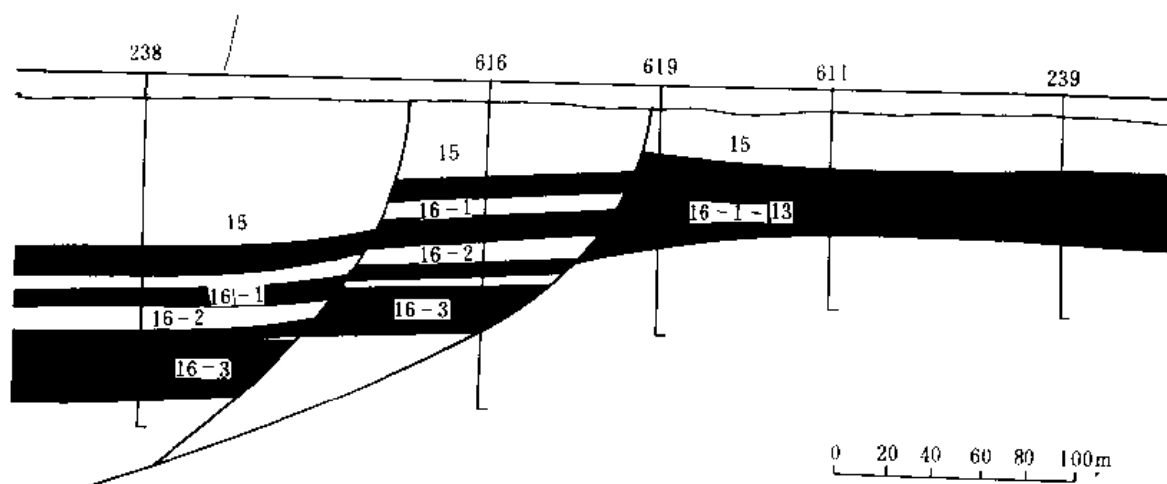


图2 中国内蒙古伊敏煤盆地同沉积断层引起的煤层厚度与结构的突然变化  
(据黑龙江煤田地质公司)

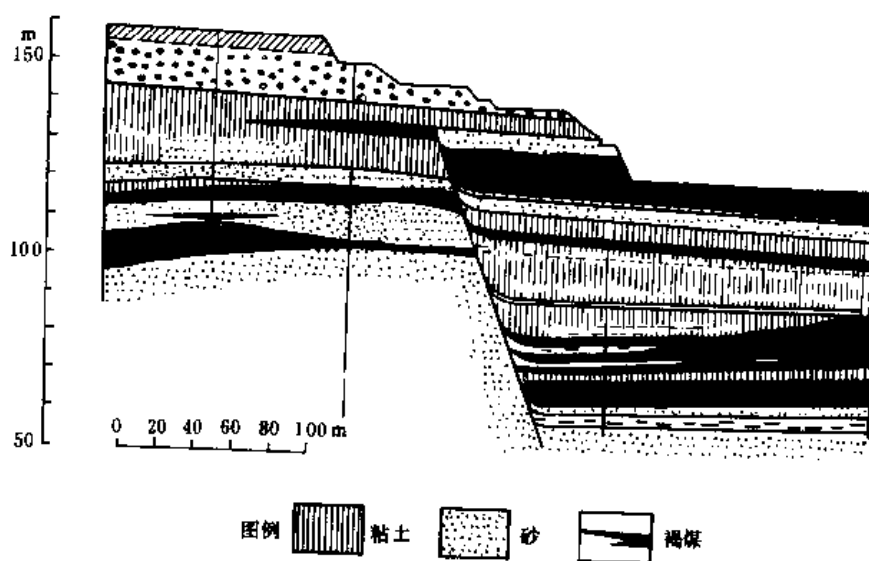


图3 德国下莱茵第三纪煤盆地中的同沉积断层  
(据 M. Teichmüller, 1968)

图3)。由于边断边沉降,同层位的地层单元在下降盘明显增厚,因为下降盘提供了更多的可容空间。

同沉积构造的形成,有多种因素。

(1)同沉积构造运动引起的差异沉降(某些同沉积背、向斜的形成)。

(2)差异压实作用。包括由埋丘和礁块引起的同沉积背斜。

(3)重力滑动和差异压实的联合作用。

(4)基底古断裂发生再活动。

(5)深部泥质底辟(泥火山)和盐丘。

第三种情况在沉积盆地有三角洲发育的地区十分常见(如尼日尔三角洲)。此种断层在平面上呈月牙形,其形成过程如图4所示。

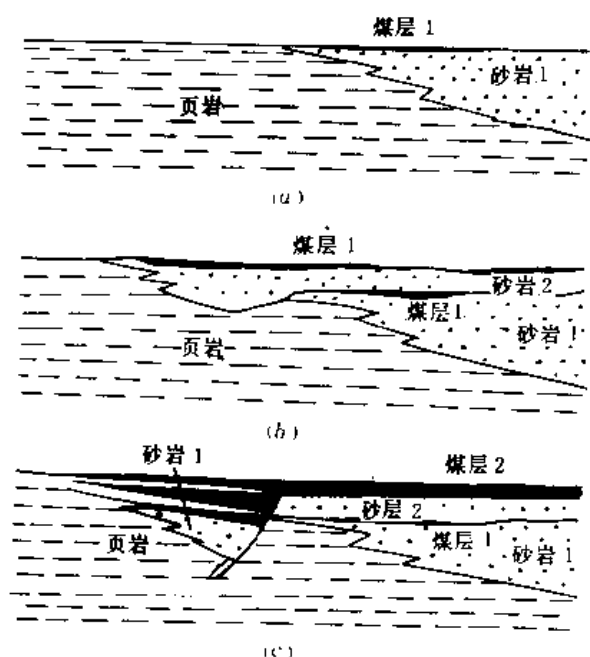


图4 同沉积断层形成机制及对煤层的影响  
a—三角洲或扇三角洲楔状体(SS<sub>1</sub>)向湖进积,并在三角洲平原形成煤层;b—新的三角洲体系单元(SS<sub>2</sub>)进积,前端部分因差异压实而加厚;c—因差异压实和差异负载形成同沉积断层,并引起两侧煤层发育状况的差异

(据 Bruce, 1973; Weimer, 1977, 略作补充)

许多同沉积断层是盆地基底中的古断层在含煤岩系沉积充填过程中发生再活动,造成断层两侧沉积厚度与岩相的明显差异。这也是较常见的同沉积构造类型。

#### 参考书目

杨起等,《煤地质学进展》,科学出版社,1987。

(李思田)

tuifu gouzao

**推覆构造** (nappe tectonics) 上盘岩块沿大型缓倾角断层面逆冲,发生了大规模水平位移的构造组合。它是一种区域性挤压收缩构造。

推覆构造主要发育于板块汇聚带、造山带和前陆带,欧洲阿尔卑斯造山带、北美阿巴拉契亚山、落基山和中国台湾前陆带即是典型推覆构造带。推覆构造也是板内常见的构造现象,中国华南板内褶皱带推覆构造亦相当发育。冲断体的叠置造成地壳表层显著缩短。根据计算,加拿大落基山推覆构造带原始沉积体的展宽由475km减少为240km,其缩短率约49%;中国台湾褶皱—冲断带收缩约160km,其缩短率约50%。

19世纪中晚期,欧洲地质学家就已认识到推覆构造现象,并把它作为阿尔卑斯山系的主要构造模式。Heim (1921) 在其经典著作中,对大型推覆体的地层、构造单元和各种小型伴生构造作了详尽的论述。20世纪70年代,国际地质学界掀起了研究推覆构造的热潮,北美落基山地区,近代石油勘探揭示了推覆构造的三维几何学特征(Dehlstrom, 1969; Price, 1970)。1975年,通过可控地震测深发现北美洲南阿巴拉契亚山是一个巨型推覆体,向北西西方向推移达260km,更引起了地质学界对推覆构造的广泛注意。近年来,推覆构造的几何学、运动学、动力学特征和分布规律得到了进一步阐述。20世纪80年代以来,中国地质学家深入研究和总结了板内推覆构造及其控矿规律,在中国东部的一些推覆体下发现了隐伏煤田,还在中国西北地区一些中生代沉积盆地中,发现了多层次推覆构造控制的油田。

**结构要素** 推覆构造由外来系统(allochthon)、冲断面和原地系统(autochthon)三部分构成。外来系统又称推覆体,是沿冲断面发生了远距离位移的复杂岩席体。原地系统是冲断面下停留在生成原地并与基底相连的岩体。冲断面是外来系统位移时的断裂面,它多呈缓倾角波状产出,往往沿地层或岩系分界面、不整合面、岩性显著差异岩层分界面或软弱层发育。

在后期侵蚀作用下,外来系统被剥蚀后的残留部分称飞来峰,它孤立地位于原地系统之上,其四周为断裂线围绕。外来系统被部分剥蚀而露出被断裂线圈闭的原地系统,称构造窗(图1)。

**冲断面几何形态** 在层状岩系中,冲断面一般呈阶梯状,由断坪(flat)和断坡(ramp)组成,并沿推覆方向向上穿切地层(图2a)。断坪平行于运动时的某个基准面,通常沿软弱层面延伸,在长距离内也可以上切或下切岩层界面;断坡则在短距离内以较陡的倾角

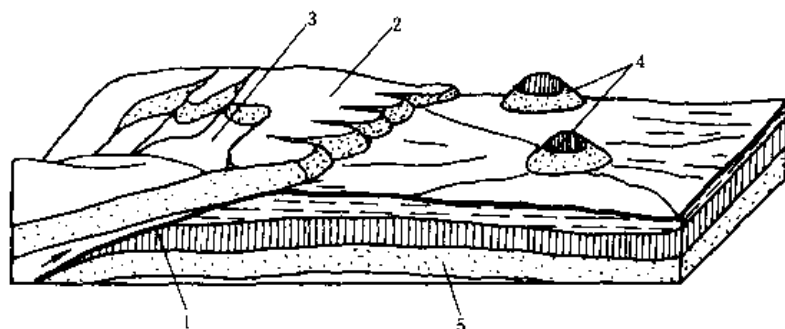


图1 推覆构造的结构要素

1—冲断面；2—外来系统（推覆体）；3—构造窗；4—飞来峰；5—原地系统

上切强岩层，并转换成高层位断坪。阶梯状断面的倾向移距与地层断距没有直接联系，上盘断坪覆盖在下盘断坪之上时，地层断距近于零；在断坡顶部，地层断距达到最大值（图 2b）。

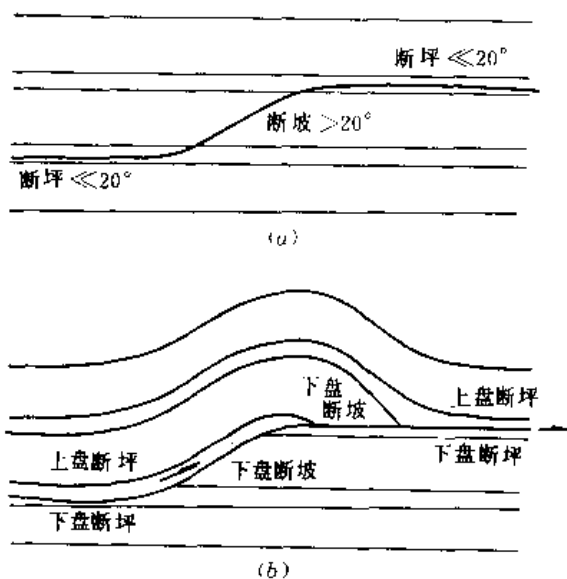


图2 冲断面的阶梯状几何特征

冲断面的阶梯状轨迹也表现在侧向方向上，穿过侧向断坡进入高层位或低层位。因此，冲断面是一个在推覆方向和侧向上均呈阶梯状延展的三维断面。阶梯状冲断面几何模式，提供了推覆构造带各种构造要素组合的基本规律（图 3）。

在后期褶皱作用影响下，先存冲断面将发生弯曲，其几何形态会进一步复杂化。

**推覆体的构造样式** 复杂推覆体包含一系列次级褶皱或冲断层，据此可区分为褶皱推覆体和冲断推覆体。

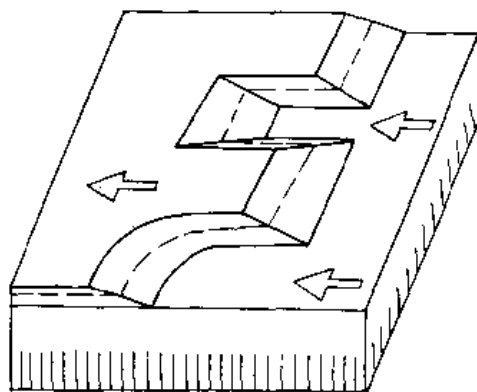


图3 推覆构造下盘断面几何形态

**褶皱推覆体** 在褶皱强烈发育过程中，沿倒转、平卧褶皱翼剪切、断裂并远距离逆冲的外来岩席体。最典型的褶皱推覆体见于欧洲阿尔卑斯山系（图 4）。推覆体最前端，断裂面与地面交线称前锋；推覆体后端，断裂面相对倾角较陡部位称根带。

**冲断推覆体** 沿逆冲断面发生显著位移的外来岩席体。逆冲断面呈阶梯状，外来岩席体被一系列分支冲断层切割。依据冲断层组合样式可区分为叠瓦式、双冲式和顺层式断裂系。

**叠瓦式断裂系** 一系列形态、倾向和规模相似的冲断层组成的叠瓦扇，每个分支断面向深部产状变缓，趋向归并于基底主干逆冲断层，向上则呈扇状散开（图 5a）。叠瓦式断裂系的成生时序与扩展方向有关，可区分为背驮式（又称前展式）和上叠式（又称后展式）两种时序类型。①背驮式。新生冲断席体发育于先期冲断层的下盘，并依次向总的推覆方向扩展。②上叠式。新生的冲断席体发育在先期冲断层的上盘，各外来岩席体依次背离推覆方向扩展。

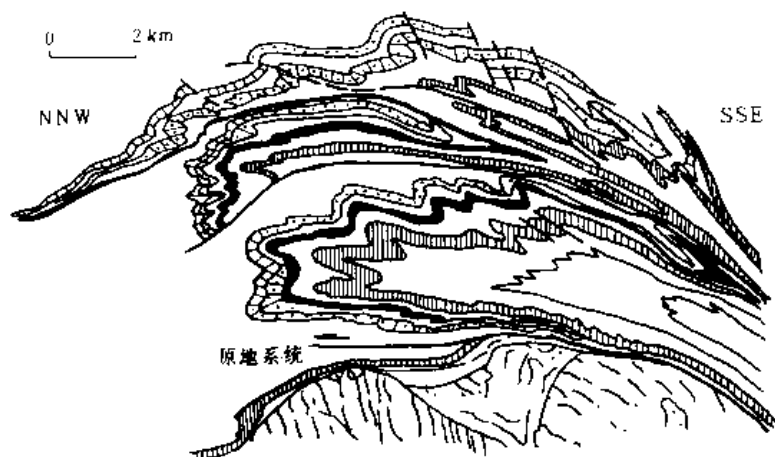


图4 欧洲阿尔卑斯赫尔文特褶皱推覆构造综合剖面图  
(据 J. G. Ramsay, 1981)

**双冲式断裂系** 由顶逆冲断层、底逆冲断层及其所夹的叠瓦式冲断层和断夹体组成。其剖面形态主要取决于断夹体的形态、冲断层的间隔和每一断面上的移距,可构成倾向前陆、叠置和倾向腹地等不同组合样式(图5b)。

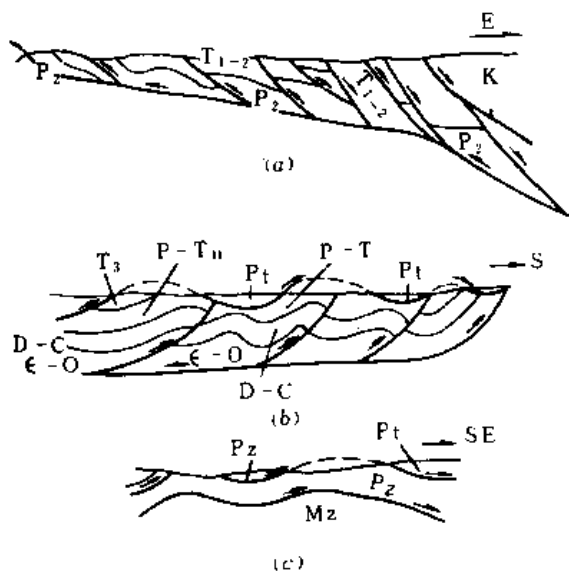


图5 中国东部冲断推覆体冲断层组合样式  
a—叠瓦式;b—双冲式;c—顺层式

**顺层式断裂系** 逆冲断层顺岩层面或不整合面发育,多层次逆冲断层构成外来岩席体的叠置。推覆体变形轻微,甚至没有明显的断层效应,但可造成地层的重复或缺失(图5c)。

**推覆构造带** 在平面上呈带状展布的走向大体一

致的一系列主干逆冲断层,伴生有各种褶皱、传递带和剪切断层的构造组合。

**伴生褶皱** 与逆冲断层几何形态和运动过程相联系的褶皱,主要包括断层弯曲褶皱和断层扩展褶皱。①断层弯曲褶皱。发生于阶梯状逆冲断层的上盘岩层,是沿断坡的上切运动所派生的褶皱。②断层扩展褶皱。发育于逆冲断层终端的显著不对称褶皱,是由逆冲断层上盘位移逐渐消减转化而成的褶皱,它使逆冲断层成为盲断层(图6)。

**传递带** 一系列逆冲断层沿走向的重叠接续带。每条逆冲断层都有一定的延伸长度,当一条断层的位移量递减直至尖灭时,另一条断层则继之而起,其位移量递增。在接续带内尚可出现一系列小型构造,但区域压缩应变通过传递带而保持不变。

**剪切断层** 斜切冲断面及其上、下盘的平移断层。它可调节各块体推移距离、变形强度和构造样式的差异。

**煤田推覆构造** 沿煤田沉积盖层的软弱层和盖层与基底界面发育的一种薄皮构造,并常常引起煤、岩层流变。包括基底推覆构造和盖层推覆构造。

位于山前和前陆带的煤田推覆构造相当发育,其前缘的逆冲断层一般限于沉积盖层,沿层面、基底界面顺层发育。向腹地追索,冲断面切入基底岩系,基底和盖层一起卷入冲断和褶皱,基底岩系或老地层推覆于较新地层之上,含煤地层可保存于推覆体之下。中国安徽淮南煤田的阜风推覆体,位于华北板块南缘,东西长约100km,南北宽约35km,主要由上元古界和早古生界地层组成。其分支冲断层构成向北逆冲的叠瓦扇,自南向北推移约30~50km;主断面发育于含煤地层内,

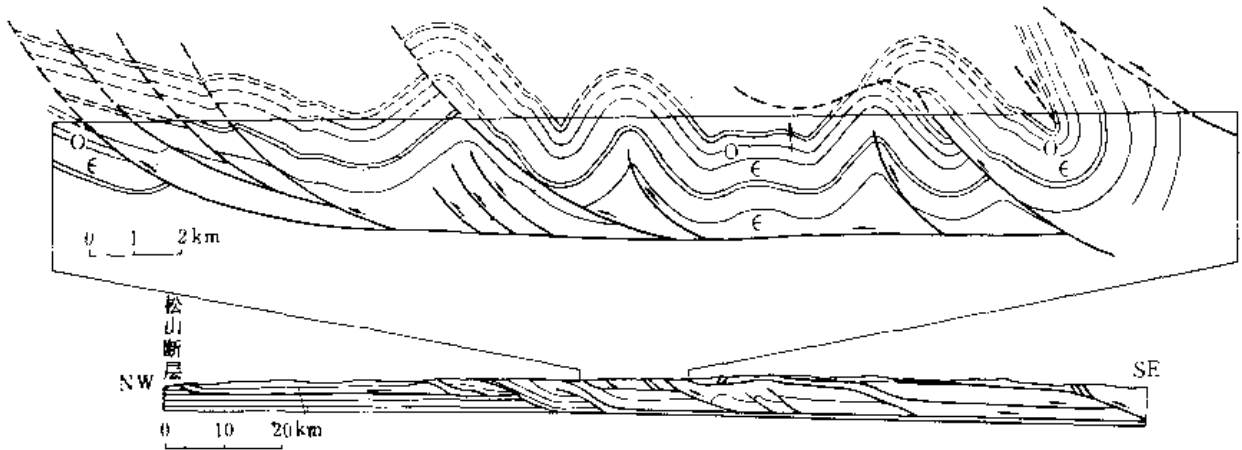


图6 美国南阿巴拉契亚推覆构造示意剖面图

沿推覆方向和侧向均呈阶梯状,中区构造简单,煤层保存于下盘原地系统,是勘探、开采的有利地段。根带位于南侧的秦岭—大别山构造带(图7)。

位于板内褶皱带的煤田推覆构造,主要受区域构造格局的控制,一般由次级基底隆起向含煤坳陷滑脱

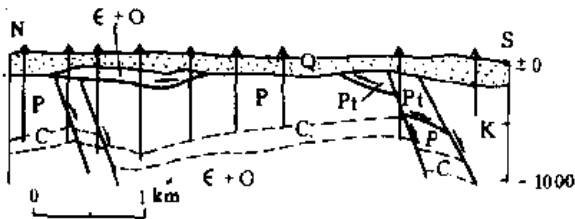


图7 中国安徽淮南煤田阜凤推覆构造剖面图

或逆冲,可形成复杂的滑覆—推覆叠加构造类型。中国湖南、江西、福建等省,已在冲断席体或滑脱席体之下找到了新的煤炭资源。

推覆构造的动力学机制尚存在不同的解释,主要有侧向挤压和重力作用两种动力作用方式之争。近年来,有些学者利用孔隙液压理论解释推覆体的远程位移,并把推覆构造纳入岩石圈内部多层次滑脱、拆离构造系统,提出了薄皮构造和拆离构造理论。

#### 参考书目

N. J. 普赖斯, K. R. 麦克莱,《冲断推覆构造》,杨俊杰、张伯荣等译,甘肃人民出版社,1984。

王文杰,王信等,《中国东部煤田推覆、滑脱构造与找煤研究》,中国矿业大学出版社,1993。

(任文忠)

## W

wasi caiquqi

**瓦斯采取器** (gas sampler) 煤田地质勘探钻孔中采取煤心及所含瓦斯,以便测定煤层瓦斯含量及瓦斯成分的专用取样工具。

在编制详查和精查地质报告时,要提供煤层瓦斯资料,作为矿区规划、矿井开采设计和制订通风安全技术措施的依据,而在勘探阶段要获得煤层瓦斯资料只能依靠钻孔瓦斯采样。1958年,中国抚顺煤炭研究所(今煤炭科学研究总院抚顺分院前身)在苏联阿列克辛阔取煤器(简称阿氏双管)的基础上,研制成功(58)型集气式瓦斯采取器,并在各煤田地质勘探队推广使用。后来,一些勘探队将该采取器集气室的结构移植到其它类型的取煤器上,从而形成多种型式的瓦斯采取器。由于集气式瓦斯采取器存在操作麻烦、密封性差、送样不便等缺点,1978年抚顺煤炭研究所在103煤田地质勘探队试验、推广了一种以测量煤层瓦斯解吸速度为基础的确定煤层瓦斯含量的新方法,简称解吸法。该方法具有所用仪器设备简单、采样成功率高、送样方便、测定成果稳定可靠等优点,被全国煤田地质勘探队广泛采用。

**集气式瓦斯采取器** 在双管单动煤心采取器(见煤心采取器)内管的上部增加一个集气室构成。其使用方法是,①将组装好的内管和集气室倒立放置(钻头朝上),并灌满盐水,排尽其中的空气,以保证所采瓦斯的代表性;②先在内管和内钻头之间安放隔膜,把内管口封闭,再装好外管,然后将全套钻具缓慢下入孔内;③开始钻进后,煤心把隔膜顶破进入内管,并逐渐把内管中的盐水挤入集气室,由煤心中泄出的瓦斯也随盐水一起进入集气室,瓦斯集聚在集气室的上部,多余的盐水由集气室下部的排水口排出;④钻煤回次结束后,将瓦斯采取器提出孔外,迅速取出内管和集气室并用堵头将两端封好,运往化验室进行瓦斯测定。

**煤层瓦斯含量解吸测定法** ①钻孔见煤后,用普通取煤器采取煤心,提出孔口后,立即从所采煤心中选择有代表性的含瓦斯煤样装入密封罐,在现场用解吸

测定仪测定煤样瓦斯解吸量及其在两小时内随时间的变化,即测出瓦斯解吸速度,结合煤样暴露的时间,推算出采样过程中损失的瓦斯量。②将装有煤样的密封罐送到化验室,经煤样粉碎前脱气和粉碎后脱气两步,测出煤样中残留的瓦斯量。采样过程中损失的瓦斯量与煤样在密封罐内进行解吸速度测定时泄出的瓦斯量之和,为解吸瓦斯量,再加上残留的瓦斯量,即为煤样的总瓦斯量。将具体条件下测定的煤样总瓦斯量换算为标准状况下的瓦斯体积,并除以煤样的可燃质质量,即为每克可燃质中含有的瓦斯量。这种方法的关键是损失瓦斯量的推算。其理论依据是:煤样中的瓦斯,在常温、常压下自由泄出的体积,在开始的一定时间内与煤样暴露时间的平方根成正比。利用瓦斯解吸仪测出煤样瓦斯解吸量的变化并绘出曲线(横坐标为时间的平方根)之后,将开始的线性性较好的一段往前延伸,结合实测的煤样暴露时间,即可推算出损失瓦斯量。这里,煤样的暴露时间是指从开始提升钻具到煤样装罐密封为止,由于在孔内的一段时间不是常温、常压状况,因而按实际时间的1/2计算。损失瓦斯量的推算,为用普通煤心采取器采取含瓦斯煤心创造了前提条件,从而使瓦斯采样操作大为简化。送化验室的煤样装在体积小、重量轻的密封罐内,这比送内管和集气室轻便得多。

(郭忠礼)

wasi dizhi

**瓦斯地质** (coalbed gas geology) 运用地质理论和方法,研究煤层瓦斯成分成因、赋存、运移规律,煤与瓦斯突出条件及预测,煤成气、煤层气可采性评价的学科。其任务是为煤矿瓦斯防治和煤成气、煤层气开发利用提供地质依据。

**简史** 瓦斯地质是20世纪70年代蕴酿,80年代在中国建立的新兴学科。它的萌芽期可追溯到20世纪50年代。杨力生在总结1956~1960年大同低瓦斯矿忻州窑矿三次严重瓦斯爆炸事故时发现,它们均与掘

进巷道遇断层有关,进而在少数矿井进行瓦斯与地质关系的研究。七八十年代初,随着煤炭工业发展,瓦斯突出事故增加,瓦斯突出与地质条件相关的现象,被更多的通风安全工程技术人员发现,要求地质人员参与研究。中国矿业大学、焦作矿业学院部分地质教师到四川、贵州、山西、吉林、甘肃、河南、湖南和江西等省的突出矿区、矿井进行了气源、赋存及其地质背景的调查,总结了瓦斯突出及其地质条件的初步规律,为防治突出提供了初步依据。1983年,杨力生主持编制《全国瓦斯地质图》。同年12月,煤炭工业部颁发《关于加强瓦斯地质工作的通知》。1985年,中国煤炭学会设立瓦斯地质专业委员会,并在部分煤炭高等学校开设《瓦斯地质》选修课。

在煤和瓦斯突出较严重的其它国家,同样在从事这方面的研究。其中,以前苏联的资料较为丰富。他们在1951年设立了《防止煤与瓦斯突出中央委员会》,苏联科学院地质研究所参加了瓦斯突出与地质条件研究;莫斯科地质勘探学院的А. И. 克拉符佐夫(А. И. Кравцов, 1967, 1973, 1980),乌克兰科学院地质技术力学研究所的В. Е. Забигаило(1980),苏联科学院矿产综合开发问题研究所的А. Г. Апруни(1987)等都有专门的论著出版,其内容涉及瓦斯地质各个方面,包括气体成因、含气形式、瓦斯运移和分带,地质因素对天然气分布影响,煤层瓦斯突出的地质条件,煤的微结构、煤内瓦斯赋存与运移的理论等。1980年,还出版了三卷《苏联煤田、煤产地内的含气性》,总结了苏联在煤田内对瓦斯的研究成果。

### 研究内容和方法

**瓦斯成分及其成因** 通过勘探阶段或开采阶段采取煤层和其它含气岩石样品,装入密封罐,然后在实验室脱气,用色谱仪和质谱仪测定气体成分及其同位素,分析它们的成因。多数煤层及其围岩内的气体成分为甲烷、二氧化碳、氮,以及不等量的乙烷、丙烷、丁烷和戊烷等重烃;有的煤田显示有氢、一氧化碳和硫化氢存在;有的含有稀有气体氦、氖、氩、氪和氙。在瓦斯风化带以下煤层内涌出的气体,甲烷占80%以上,一般在90%左右。因此狭义矿井瓦斯即指甲烷。但也有少数矿井煤层和岩石内涌出的是高浓度的二氧化碳,纯度可达99%左右,并曾发生二氧化碳与煤、二氧化碳与砂岩的突出。

常量的甲烷、二氧化碳和重烃是泥炭在煤化作用过程中产生(见煤成气)。高浓度二氧化碳,根据对中国吉林营城煤矿、和龙煤矿松下坪井和甘肃窑街煤矿三个二氧化碳突出矿井的调查,通过对突出气体的稳定同位素 $\delta^{13}\text{C}$ 测定,结合对突出地点地质条件的研究

查明,属外来无机成因。营城煤矿与和龙煤矿松下坪井突出气体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值分别为 $-9.3\text{‰} \sim 11.2\text{‰}$ 和 $-9.3\text{‰} \sim -10.2\text{‰}$ ,属火山气。窑街煤矿突出气体的 $\delta^{13}\text{C}$ 值为 $0.37\text{‰} \sim -4.4\text{‰}$ ,系岩浆侵入大理岩,使大理岩热分解的产物。

煤内所含氮气一般系随空气混入泥炭,或由植物蛋白质分解而成。

一般认为,煤矿内极少量的一氧化碳与煤的不完全自燃有关。但也有人认为它是有机物分解的产物。

А. И. Кравцов认为,煤矿中的硫化氢是硫酸盐水在细菌参与下与甲烷作用而产生。J. M. Hunt(1979)认为,腐泥物质在 $100\text{℃}$ 以上的地温作用下,也可以产生硫化氢,硫化氢溶解度高,一般随水溶走。在某些矿井灰岩水中可闻到硫化氢的气味。

А. И. Кравцов认为,氦、氖、氩、氪、氙等稀有气体与氮有固定的比例关系,是空气成因。中国甘肃窑街突出孔检测出的氦气,有人解释属幔源气。

**瓦斯赋存** 瓦斯有三种赋存方式,①游离于煤和岩石的较大的孔隙、裂隙内,其数量的多少,取决于煤和岩石的孔隙率,气体的压力、温度和压缩系数;②吸附于煤中各种大小孔隙的内表面,淮北朱仙庄矿8号煤层用压汞法测得的毛细孔隙率为 $5.37\%$ ,总的孔容为 $0.0264\text{cm}^3/\text{g}$ ,孔隙总表面积为 $6.09\text{m}^2/\text{g}$ ,其中直径在 $0.043\mu\text{m}$ 以下的孔隙容积占总孔容的 $74\%$ , $0.043\mu\text{m}$ 以下的孔隙表面积占总表面积的 $90\%$ ;③溶解于孔隙、裂隙水中,俄罗斯А. Г. Апруни等通过研究认为,煤内气体以储存于煤分子之间的空间者占多数,并称其为固溶或吸收(表1)。并指出了不同煤阶孔隙分布特征(见煤层气),煤对各种气体的吸附量(表2)。不同煤类的煤对甲烷的吸附量(见煤层气)。

宏观煤岩类型与煤结构破坏类型 宏观煤岩类型

表1 甲烷在煤中赋存形态及分布  
(煤的变质程度中等  $V_{\text{daf}}=20\% \sim 28\%$   
埋藏深度 $800 \sim 1200\text{m}$ )

| 瓦斯赋存部位        | 瓦斯赋存形态 | 瓦斯量(%) |
|---------------|--------|--------|
| 1. 大孔、裂隙和块体空间 | 游离     | 1~12   |
| 2. 分子之间的空间    | 吸收     | 4~12   |
| 3. 高体变裂隙裂隙内   | 溶解(吸收) | 25~80  |
| 4. 显微裂隙内      | 溶解(吸收) | 1~4    |
| 5. 显微裂隙内      | 溶解(吸收) | 1~12   |

(据А. Г. Апруни, 1987)



表2 气体压力为1kg/cm<sup>2</sup>时煤的吸附气量

| 气体                            | 温度(°C) | 煤的吸附气量 (cm <sup>3</sup> /g) |                            |
|-------------------------------|--------|-----------------------------|----------------------------|
|                               |        | 10℃时<br>(型煤 LTH-1000-90)    | 10.4℃时<br>(型煤 LTH-1000-90) |
| CO <sub>2</sub>               | -26.3  | 31.4                        | 6.3                        |
| N <sub>2</sub> O              | -38.1  | 12.4                        | —                          |
| C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> | -186.3 | 12.2                        | —                          |
| CH <sub>4</sub>               | -161.3 | 4.1                         | 2.4                        |
| Ar                            | -185.7 | 1.4                         | —                          |
| N <sub>2</sub>                | -125.8 | —                           | 0.4                        |
| H <sub>2</sub>                | -252.7 | 0.3                         | —                          |

(据 A. T. Аппын, 1980)

可反映煤对瓦斯的吸附能力和煤的机械强度。煤结构破坏类型根据煤层是否被构造挤压破坏和破坏程度划分的类型。从外观上分为①未破坏煤, 煤层条带、线理构造保存完好, 节理稀少; ②有破裂, 节理较多的煤, 煤层层理未被破坏; ③角砾状煤; ④褶曲揉皱状煤, 滑面发育, 呈鳞片状; ⑤粉状或土状煤。前两种煤无突出危险, 后三种煤因强度低, 瓦斯放散初速度大, 属于突出危险的煤。经调查, 这类容易突出的煤在分布上有两种形式, ①顺层分布, 在井田范围内普遍存在, 它位于煤层中部, 也可以沿煤层顶、底分布, 其空间厚度有变化; ②沿某些断层带的上、下盘分布。逆断层的上盘对煤的破坏程度超过下盘。挠曲、正断层的引楔部位等处, 也都可发育构造破碎的软煤。顺层分布的软煤, 常是含煤岩系被地应力侧向挤压产生褶皱时, 顺层面的弯滑作用于较厚、强度较小的煤层, 使其被剪切破坏而形成。若煤层底板岩石和煤同时构成一个滑片, 不仅煤层会全部遭到破坏, 而且煤层厚度也会发生急剧变化。

顺层滑动产生的软煤和勘探阶段已查明的主要逆断层带产生的软煤均可预测, 然而, 对局部小构造产生的局部软煤, 目前尚难预测。

**瓦斯含量和瓦斯压力** 煤层中瓦斯量的两种量化指标。①瓦斯含量。单位体积或单位重量煤体内瓦斯的体积数, 一般用 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> 煤或 m<sup>3</sup>/t 煤表示; 由于煤中内在灰分和水分析影响煤对瓦斯的吸附量, 因而在勘探阶段换算成 cm<sup>3</sup>/g 可燃基。煤层瓦斯含量是矿井通风设计的重要参数, 它也可换算成瓦斯压力后成为评价煤层有无突出危险的指标。含量大小又是煤层气气藏贫富的指标。在地质勘探阶段, 可采煤层瓦斯含量达 8m<sup>3</sup>/t 煤以上的井田, 对可采煤层应逐层采样, 测定气体组分和含量。采样点分布均匀, 在不同构造块段的不同深度各有 2~3 个采样点, 方能绘制可采煤层瓦斯含

量等值线图和瓦斯压力等值线图, 为评价提供地质依据。②瓦斯压力。煤层内瓦斯的压力是煤层内瓦斯含量的另一种表现形式, 是评价煤层有无突出危险的指标(见瓦斯突出危险性评价)。

煤矿开拓、开采阶段在判断煤层有突出危险后, 才实施瓦斯测压工作, 并按规程在开拓工程揭煤之前进行。

**瓦斯地质背景** 为认识瓦斯赋存和分布规律所需研究的内容。每个矿区各有其特点, 应根据特点开展工作。但都离不开研究生气和保存气的有关地质因素。生气因素的研究包括对甲烷含量高的煤层, 主要研究煤的牌号、变质作用类型、变质作用的时间; 对含高纯度二氧化碳的煤层, 需测定二氧化碳稳定同位素  $\delta^{13}\text{C}$  值, 同时结合地质条件, 作出气源与空间赋存地段的说明; 对重烃含量高(4%~5%以上)的煤层, 除研究煤的变质阶段外, 还需鉴定煤的煤岩显微组分, 统计壳质组和腐泥成分的含量。由于煤内瓦斯系自生自储, 其生成量远远超过目前保存量, 能保存多少取决于成气以后地质条件的变化。因而储气因素的研究, 主要包括①煤层直接顶板和直接底板岩石的岩性、透气性、厚度和含水性, 对石灰岩, 要了解其溶孔、溶洞发育情况; ②含煤岩系、煤层露头上直接覆盖岩层岩石的透气性和厚度; ③断层的透气性; ④煤层埋藏在基岩剥蚀面下的深度, 煤层的倾角, 相同埋深的煤层通往煤层露头的斜长; ⑤含煤岩系经历地壳运动的次数, 不同运动的应力性质、方向和形成的具体构造, 这些构造在后期运动中的转化, 它们对煤层内气体的影响等。

**瓦斯地质图** 用矿井、矿区瓦斯信息和相关的地质资料编绘成的单幅或多幅图件。用以分析和反映瓦斯和地质条件的有机联系, 并借以对未开拓区和新区的瓦斯状况作区域性预测。它是研究瓦斯地质必用的手段。其表现方式可根据各矿特点自行设计, 通常, 以 1:5000 的煤层底板等高线图作底图, 标绘: 煤层瓦斯含量点与含量值, 煤层瓦斯含量等值线; 瓦斯测压点和压力值, 瓦斯压力等值线; 煤和瓦斯突出点及突出强度; 瓦斯喷出点和喷出量; 瓦斯风化带底界; 始突深度标高线等瓦斯信息。当没有瓦斯含量等值线、瓦斯压力等值线时, 常用瓦斯相对涌出量等值线反映瓦斯涌出状况, 而用比例尺相同的另一幅图反映相关的地质内容。

**瓦斯地质评价** 通过对一个矿井或一个矿区的详细研究, 对可采煤层中是否有突出危险煤层; 煤层瓦斯风化带的深度; 煤层的始突深度; 突出危险区、突出威胁区和不突出区的空间分布及其地质因素; 煤层渗透性系数; 分阶段煤内瓦斯储量及其抽排的可行性等问题

作出评价。

研究瓦斯地质需要煤田地质学；煤的有机地球化学；区域地质和盆地演化；构造地质学；矿井瓦斯防治和煤层瓦斯抽放技术等知识。瓦斯地质正通过服务于煤矿安全、环境保护和综合利用地下资源而获得发展。

### 参考书目

В. Е. Забугаице 等,《顿巴斯煤层突出的地质条件》,左德昭等译,煤炭工业出版社,1980。

А. Т. Аппунь,《煤矿瓦斯动力现象的预测预防》,唐修义等译,煤炭工业出版社,1987。

(陆国楨)

wasituchu weixianxing pingjia

**瓦斯突出危险性评价** (danger evaluation of gas outburst) 根据已有的瓦斯资料和对相关地质条件研究,对井田(或矿区)主要煤层有无瓦斯突出危险、可能突出范围作出地质评价。它为矿井设计和开拓提供预防瓦斯突出的地质依据。

**煤与瓦斯突出** 在地应力和瓦斯的共同作用下,煤矿井下煤层中破碎的煤和瓦斯由煤体突然向采掘空间抛出的异常动力现象。这种瓦斯动力现象在一个矿区或井田范围内存在分区性。中国开滦马家沟煤矿在开采、开拓八、九水平时,9号、12号煤层在井田中部发生瓦斯突出,而在东、西翼则未显突出;淮北朱仙庄煤矿—435m第一水平北部的二、四、六采区,历年瓦斯鉴定属低瓦斯矿井,而南部一、三采区掘进轨道上山下部车场和揭煤前测压,却显“煤炮”、冒落和喷孔现象,而这五个采区却是同属向斜的一翼的相邻采区,这种瓦斯分区,只有详细研究有关地质条件方能查明。对煤与瓦斯突出这种区域分布规律性认识,可指导煤与瓦斯突出的区域预测,减少瓦斯突出预防工作中的盲目性,降低成本,提高经济效益。

中国二氧化碳突出矿井目前仅见于吉林营城煤矿、延边自治区和龙煤矿松下坪井和甘肃窑街煤矿斜井。二氧化碳涌出和突出局限在断层带附近。需要查明气体来源和赋存规律,才便于防治,确保煤矿安全生产。

**煤与瓦斯突出机理** 目前,人们对煤与瓦斯突出的机理有多种假说,较公认的看法认为它是由煤层内瓦斯、地应力和煤的力学性质三个因素综合作用的结果。煤层内瓦斯(外来二氧化碳除外)是在煤层形成和变质过程中形成的。地应力与煤层埋藏深度和地壳运动有关。煤的力学性质则与煤岩显微组分,煤的变质程度,以及后期构造运动对煤的破碎程度有关(见瓦斯地质)。

**煤层瓦斯含量调查** 目前常用方法是,在地面打钻,提取煤心,装入密封罐,在钻场解吸,累计瓦斯解吸量并绘制瓦斯解吸量与时间的关系曲线,利用该曲线,推算煤心装入密封罐之前的损失量(图1、图2)。再把密封罐送进化验室,对罐内煤样进行加热和破碎加热,前后两次抽取煤内气体,计量并测定气体组分。把损失量、解吸量和化验室抽取量相加而得煤样内全部气量,再除以煤样重,即得单位重量的气量 $\text{cm}^3/\text{g}$ 煤,再根据煤样内在灰分、水分分析结果,换算成可燃基的含量 $\text{cm}^3/\text{g}$ 可燃基。地质勘探阶段设计煤层瓦斯取样方案时,对主要可采煤层在不同构造块段、不同埋藏深度设计取样,以便全面了解主采煤层沿走向、倾向煤内实际瓦斯含量变化。美国已将煤层内甲烷气列为非常规能源,其能源部规定需逐孔、逐层取样,测定煤内甲烷量。煤层瓦斯压力值是煤层瓦斯含量另一种表现形式,含量和压力呈指数方程关系 $Q=a\sqrt{p}$ ,式中 $Q$ 为瓦斯含量; $p$ 为瓦斯压力, $a$ 为瓦斯含量系数(利用井下煤样人工注气、吸附、放气测定)。瓦斯压力被定为突出指标之一。当生产矿井经判定煤层有突出危险时,开拓巷道揭煤之前要求测压。为了全面了解开拓

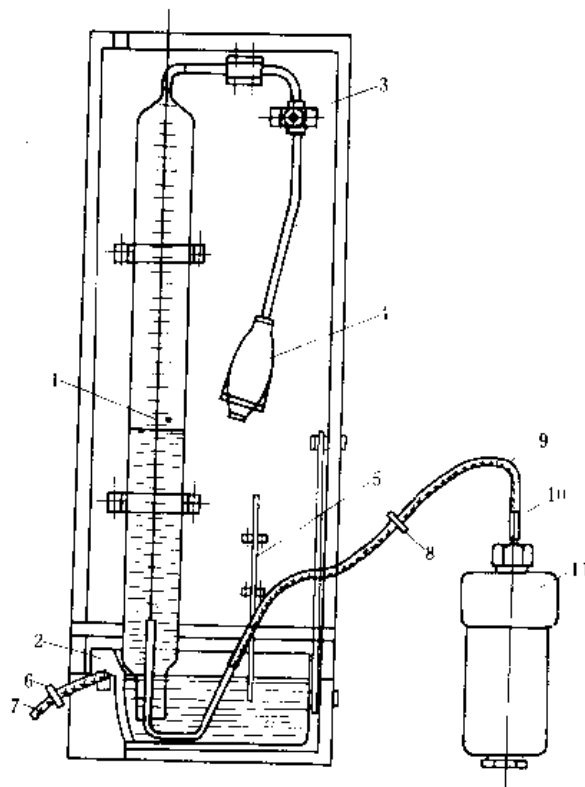


图1 钻孔煤心瓦斯解吸速度测定装置

1—水管; 2—水槽; 3—螺旋夹; 4—吸气球;  
5—温度计; 6、8—弹簧夹; 7—放水管; 9—排  
气管; 10—穿刺针头; 11—密封罐

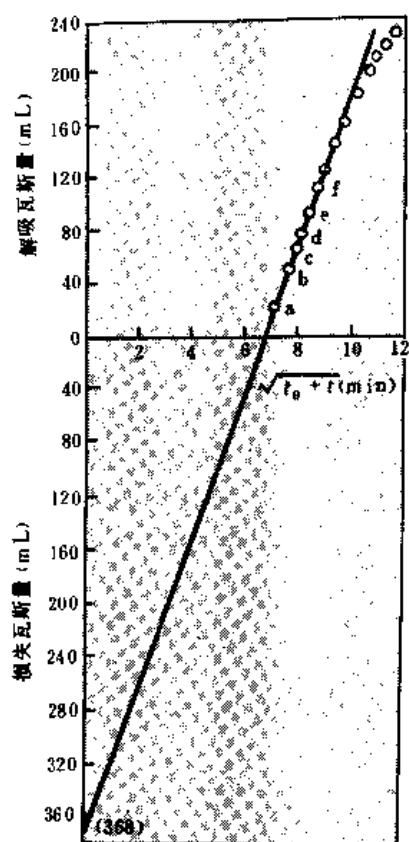


图2 损失瓦斯量计算图解

$t_0$ —煤心装罐前暴露时间;  $t$ —煤心装罐后解吸观测时间

采区煤层瓦斯压力分布,可在采区内不同高度实测2~3个瓦斯压力值,计算煤层瓦斯压力梯度。

利用煤层瓦斯含量值、煤层瓦斯压力值,即可编制煤层瓦斯含量等值线图 and 煤层瓦斯压力等值线图。据《防治煤与瓦斯突出细则》规定,煤层瓦斯压力超过0.6MPa时,即为有突出危险。

**宏观煤岩类型和煤体结构的破坏类型调查** 重点调查遭构造破坏的煤层软分层(又称构造煤)的厚度分布,测定它们的瓦斯放散指数  $\Delta p$  值和煤层坚固性系数  $f$  值,软分层常是突出层位(见瓦斯地质)。调查中要分清构造煤是顺层分布还是沿局部断层带和构造变动带分布。最终圈定构造煤的分布范围。

**其它地质背景调查** 为了准确解释瓦斯压力、构造煤分布规律,尚需调查煤层围岩岩性、厚度与透气性,编制煤层顶板、底板岩性和厚度分布图,测定它们的渗透性;调查含煤岩系上覆地层岩性并测定其透气性,编绘上覆地层底部岩性和厚度分布图,主采煤层到含煤岩系基岩风化面的等深线图;测定各勘探线开采

水平的煤层到达煤层露头的斜长;调查含煤岩系沉积后经历的构造运动次数,各期构造运动的受力方向、受力性质及其对煤田构造形态的影响,对煤内瓦斯排放和对煤体结构破坏的影响;调查井下揭露断层的方向、性质、断距和导水性;调查后期应力场变化对前期构造排放瓦斯的影响以及现代应力场的方向,活动断层的活动方向与年活动量等。

**评价方法** 依据煤层瓦斯压力等值线和构造煤分布以及测得的  $\Delta p$  值和  $f$  值,参照煤炭工业部《防治煤与瓦斯突出细则》规定的综合指标  $D$  值和  $K$  值,判定煤层有无突出危险和在什么范围突出。

$$D = \left( 0.0075 \frac{H}{f} - 3 \right) (p - 0.74)$$

$$K = \frac{\Delta p}{f}$$

式中  $H$  为开采深度,  $m$ ;  $p$  为煤层瓦斯压力,  $MPa$ ;  $\Delta p$  为瓦斯放散指数;  $f$  为煤的坚固性系数。

《细则》规定:  $D \geq 0.25$ ,  $K \geq 15$  时煤有突出危险,小于上述数值则无突出危险。实际使用时,对构造煤顺层分布的矿井(四川南桐鱼田堡矿的4号煤层,淮北朱仙庄矿的8号层),压力值0.6MPa起决定性作用;对构造煤局部分布的煤层,则由于对产生这种煤的局部构造的预测尚未解决,而难以事先预测突出带,只能在掘进过程中加强对煤层破坏程度的观察,开展煤巷掘进工作面突出危险性预测。

**瓦斯地质背景说明** 依据地质背景调查,全面系统说明该井田煤层瓦斯生成的经过、逸散的途径和瓦斯分区的地质原因。

#### 参考书目

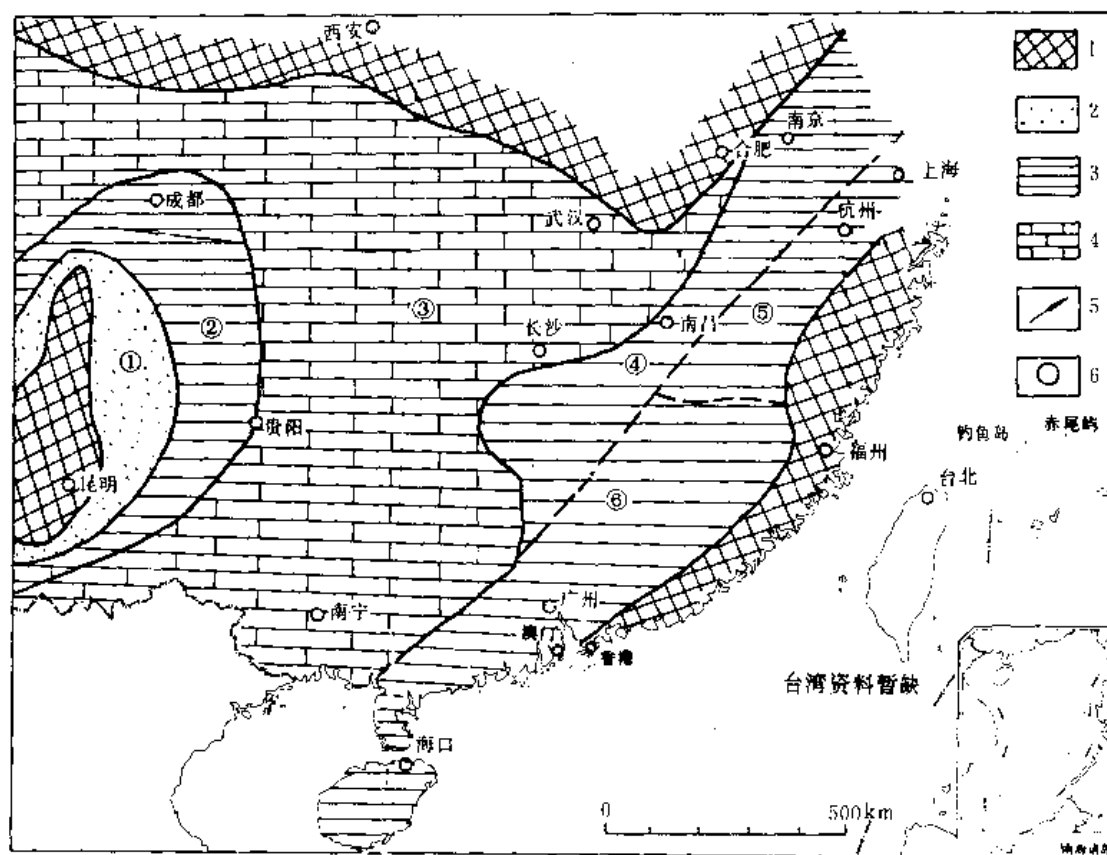
- 俞启香,《矿井瓦斯防治》,中国矿业大学出版社,1992。  
煤炭工业部,《防治煤与瓦斯突出细则》,煤炭工业出版社,1988。

(陆国桢)

Wan Erdieshi hanmeidiceng

**晚二叠世含煤地层** (Late Permian coal-bearing stratum) 中国南方最主要的含煤地层,在黔西、川南、滇东、湘中南及赣中等地赋存较丰富的煤炭资源。其层位介于下二叠统茅口组中部和下三叠统大冶组(飞仙关组)两套浅海型石灰岩组之间,系一套海陆交替相或以浅海相为主的碎屑岩、石灰岩含煤岩系,曾有龙潭煤系、斗岭煤系、乐平煤系、宣威煤系等名称,均以产出大羽羊齿植物群化石为特征。其时代属早二叠世晚期至晚二叠世,但认识并不一致。

**地层特征** 按地层结构、岩性岩相、生物组合综合



中国南方早晚二叠世古地理暨地层分区图

1—古陆；2—滨海平原；3—滨海低地、潟湖海湾；4—浅海；5—海侵方向；  
6—地层分区编号：①康滇，②川黔，③扬子，④江南，⑤浙赣，⑧闽粤

考虑,含煤地层在南方划为六区(上图),各区地层划分对比关系如表1所示。

下二叠统上部 在川黔区东部及扬子区,该地层均属浅海型茅口组的上部层位,其顶部普遍存在古风化壳而有不同程度的缺失。以西的川黔区西部及康滇区,该地层称峨嵋山组,由玄武岩及中—基性、基性火山碎屑岩组成,内夹砂岩、泥岩及煤层,厚0~1000m不等,西厚东薄,于四川珙县、贵州贵阳等地尖灭。以东各区,均发育有含煤地层的下部层位,部分地区无可采煤层,部分地区则为海陆交替相碎屑岩含煤沉积,以童子岩组为代表。

**童子岩组** 据福建连城童子岩标准剖面命名，在龙岩—永安一带发育良好，含煤性亦高。该组连续沉积于下二叠统文笔山组（相当于茅口组中部同期沉积）之上，厚300~800m，由细砂岩、粉砂岩、泥岩组成，夹薄层泥质灰岩及煤层，煤层的可采总厚度常在10m以上。按岩性组合分为三段，下、上段均为海陆交替相碎屑岩夹煤层；中段为浅海相泥岩、粉砂岩。煤层附近，

产出大羽羊齿植物群化石；而在下、中段内有丰富的海相化石，重要分子有菊石 *Mexicoceras*, *Waagenoceras*, 腕足类 *Uncisteges* 等，并有双壳、珊瑚、海百合茎、三叶虫等门类，上段海相化石中出现了 *Asioproductus*, *Tyloplecta* 等晚二叠世腕足类分子。全组向东到闽中德化、永春一带，岩石粒级加粗而以细砂岩为主；向西到连城一带，岩石粒级变细，海相比比例增大，但厚度减小，含煤性变差，三段的划分已不明显。在粤东北兴宁、梅县、粤中广州、台山、恩平等地，亦呈海相比比例增大、厚度减小、含煤性变差的趋势。到海南南方附近，已不含可采煤层。

上二叠统下部 为晚二叠世含煤地层主体。按岩相分三种类型, ①浅海相, 以扬子区吴家坪组为代表; ②近海相, 以江南区、川黔区的龙潭组上部为代表; ③陆相, 以康滇区宣威组为代表。福建、粤东的翠屏山组及赣东北的雾林山组, 大体上亦属于陆相, 但含煤性差, 到粤中地区已变为红层或杂色地层。

龙潭组 据江苏省南京市龙潭标准剖面命名，其

表1 中国南方早、晚二叠世含煤地层对比表

| 地区   |    | 1    | 2        | 3        | 4   | 5    | 6    |
|------|----|------|----------|----------|-----|------|------|
|      |    | 南贵   | 川黔       | 扬子       | 江南  | 浙闽   | 两粤   |
| 上二叠统 | 上部 |      | 汪家寨组     | 长兴组      | 长兴组 | 大隆组  | 长兴组  |
|      | 中部 | 宣威组  | 北碚组 (上部) | 吴家坪组     | 龙潭组 | 茅林山组 | 茅林山组 |
|      | 下部 |      |          |          |     |      |      |
| 下二叠统 | 上部 | 峨眉山组 | 峨眉山组     | 茅口组 (上部) | 茅口组 | 宣威组  | 宣威组  |
|      | 中部 |      |          | 茅口组 (下部) | 茅口组 | 宣威组  | 宣威组  |
|      | 下部 |      |          |          |     | 宣威组  | 宣威组  |

△ 主要含煤组；○ 次要含煤组。

完整的岩石地层结构应包括上部含煤段) 及下部无煤段。根据古生物学界意见, 多将下部划归早二叠世晚期, 并视作茅口组上部 *Yabeina-Neomisellina* 筳带的同期沉积。无煤段在江南区一般假整合于茅口组中部的 *Neoschwagerina-Verbeekina* 筳带(赣中、湘中南称鸣山组、当冲组) 或与之相当的孤峰组(苏浙皖地区) 之上, 由赣湖海湾相泥岩、粉砂岩及细砂岩的互层组成, 一般厚 100~400m, 段内化石稀少, 植物多系碎片, 腕足类个体萎缩细小。沿安徽铜陵—江西高安—湖南涟源—广东阳山弧形地带, 该段由东南向西北厚度急剧递减直至尖灭。该段在各地有互层段(苏南)、下官山段(赣中)、下部不含煤段(湘中、湘南、粤北) 等不同名称, 苏南的堰桥段亦大体与其相当。龙潭组上部含煤段, 通常分为三个岩段, 下煤段、海相段及上煤段, 一般总厚 50~200m, 由海陆交替相砂岩、泥岩夹煤层、菱铁矿、砂质灰岩、灰岩、硅质岩等薄层组成。上、下煤段产出大羽羊齿植物群化石; 海相段产出以筳类 *Codonofusiella*, 头足类 *Anderssonoceras*, *Pseudogastrioceras*, 腕足类 *Aulosteges* 等为主的海相化石, 还有海百合、三叶虫、双壳类等。上煤段仅发育于江南区偏东部位(苏南、浙北、赣中、粤北), 于江苏常州—安徽广德—江西南昌—江西萍乡—湖南郴州—广东阳山—

线, 向西消失而并入海相段中。川黔区龙潭组仅发育了上部, 假整合于峨眉山组或茅口组之上, 在茅口组顶部有明显的古风化壳, 而在龙潭组上部的最底部, 岩层常为角砾岩或残积相粘土岩, 全组厚 100~400m, 由石灰岩、泥岩、砂岩及煤的互层组成, 产大羽羊齿植物群化石及以筳类 *Codonofusiella*, 腕足类 *Cathaysia*, *Crurithyris* 等为主的海相动物化石, 岩性、岩相变化明显。向东, 石灰岩层比例增多而渐变为扬子区的吴家坪组; 向西, 则砂岩比例增多, 逐渐过渡为康滇区的宣威组。

**吴家坪组** 据陕西南郑吴家坪标准剖面命名, 广布于陕南、川北、川东、湖北、赣北、湘北、湘西、黔东、黔南、广西、粤西北等地, 以一套浅海相石灰岩、硅质岩为主, 夹泥岩、砂岩、煤层、粘土岩等薄层, 一般在其下部或底部含可采煤层, 底部常为粘土岩或角砾岩层, 假整合超覆于茅口组石灰岩之上。全组厚 100~500m。产出以筳类 *Codonofusiella*, 腕足类 *Cathaysia*, *Crurithyris* 为主, 包括珊瑚、头足、双壳、三叶虫、海百合等类海相动物化石, 并有少量大羽羊齿植物群的植物分子。该组的地方名称尚有台山组(桂)、辰溪组(湘西) 等。

**宣威组** 据云南省宣威县标准剖面命名, 分布于四川西南地区及云南东北部、东部。一般假整合于峨眉山

山组之上,为一套陆相碎屑岩组,河流相和坡积、残积相都发育,在东部夹可采煤层,组内常含喷出岩及火山碎屑岩层,总厚小于200m。组内产出大羽羊齿植物群化石。该组层位包括整个上二叠统。

上二叠统上部 整合(局部为假整合)于上二叠统下部之上,一般有两种岩石类型,①浅海相石灰岩型,称长兴组,产出以筴类 *Paleofusulina* 为代表的动物化石;②浅海相硅质岩型,称大隆组,产出以头足类 *Pseudotirolites* 为代表的动物化石。另在黔西水城一带,龙潭组上部之上还有一套海陆交替相含煤碎屑岩组,称汪家寨组,产出 *Pseudotirolites* 及大羽羊齿植物群化石;康滇区宣威组也包括上二叠统上部地层,

但因均属陆相沉积而不易划分开来。上二叠统上部地层厚度一般以10~30m居多,长兴组发育处稍厚,但小于20m。

此外,在云南西北部鹤庆、宁蒗、墨江等地,亦有含可采煤层的晚二叠世含煤地层分布。

**古生物特征** 中国南方晚二叠世生物界特别繁盛,动物门类有头足、腕足、腹足、双壳、筴、珊瑚、海百合、苔藓虫、牙形刺类、三叶虫等。头足类和筴类演化快,是划分对比该地层的重要依据;腕足类个体数量多,最常见。植物属于大羽羊齿植物群,分三个组合(表2),是成煤的主要原始质料(参见彩图插页第25页)。

表2 中国南方晚二叠世主要生物组合(带)表

| 地质时代 | 头足类   | 筴类   | 腕足类  | 植物  |
|------|---|--|--|---|
| 晚二叠世 | <i>Pseudotirolites-Pleurodoceras-Rotidiscoceras</i> 带   | <i>Paleofusulina sinensis-P. nana</i> 带                      | <i>Waagenites pigmaceras-Neochonetes strophomenoides Crurithyris speciosa</i> 带  | <i>Ullmannia laevis</i><br><i>Podocarpites lanceolatus</i> 组合   |
|      | <i>Pseudostephanites</i><br><i>Tapashanites</i> 带   | <i>Paleofusulina fusiformis-Galloxyrinella metianensis</i> 带 | <i>Peltichia zigzag</i><br><i>Perigeyerella tenuicostata</i> 带   |   |
|      | <i>Pseudotirolites</i><br><i>Sherovites</i> 带   |  | <i>Cathaysia sulcatifera</i><br><i>Crurithyris pigmaceras</i> 带  | <i>Gigantonoclea guizhouensis</i><br><i>Lobatannularia multifolia-Gigantopteris divisyphelloides</i> 组合 |
| 早二叠世 | <i>Sanyangites</i> 带<br><i>Araucoceras Konlingites</i> 带<br><i>Anderssonoceras Prototoceras</i> 带 | <i>Codonofusella</i> 带                                       | <i>Audostege payangensis</i><br><i>Tylopecta yangtzensis</i> Permo-phricodothyris<br><i>grandis</i> - <i>Asioproductus gratusus</i> 带  |   |
|      |   | <i>Polydicladina chekiangensis</i> Neomiscellina 带           | <i>Unioites</i> <i>crenulata</i><br><i>Neophacatella luangsi</i> 带<br><i>Tylopecta nankingsis</i> <i>Monticulifera chekiangensis</i> 带 | <i>Gigantonoclea fukienensis</i> <i>Tingia carbonica</i> 组合   |
| 早二叠世 | <i>Shouchangoceras Monticuloceras</i> 带<br><i>Mericoceras</i><br><i>Waagenoceras</i> 带            | <i>Yabeina Neomiscellina</i> 带                               |  |   |

大羽羊齿植物群产出中国华南、华北晚二叠世及部分早二叠世晚期地层中的植物化石,以 *Gigantopteris*, *Lobatannularia* 两属最主要。在中国南方,此植物群分三个组合。

(1) *Gigantonoclea fukienensis*-*Tingia carbonica* 组

合。以真蕨和种子蕨植物为主,鳞木、楔叶、科达等目也较发育,常见属除 *Gigantonoclea*, *Gigantopteris* 外,尚有 *Lepidodendron oculifolius*, *Lobatannularia sinensis*, *Pecopteris sahnii* 等种,也有一些常见于华北下石盒子组中的 *Cathaysiopteris whitei*, *Tingia carbonica*,



*Lobatannularia ensifolia* 等种,其时代为早二叠世晚期。

(2) *Gigantonoclea guizhouensis*-*Lobatannularia multifolia*-*Gigantopteris dictyophylloides* 组合。植物纲、目繁多,除真蕨、种子蕨、石松、楔叶、科达纲外,银杏、苏铁、松柏等纲亦有较多发现,最常见的有 *Lepidodendron*, *Sphenophyllum*, *Annularia*, *Lobatannularia*, *Plagiozamites*, *Tingia*, *Pecopteris*, *Compsopteris*, *Gigantopteris*, *Gigantonoclea*, *Rhipidopsis*, *Otofolium* 等。它可分四个亚组合,自下而上为① *Abropteris guizhouensis*-*Plagiozamites oblongifolius*-*Pecopteris sahnii* 亚组合;② *Gigantopteris nicotianaeifolia*-*Pecopteris contracta* 亚组合;③ *Strigilothea faciculata*-*Pelourdea contracta* 亚组合;④ *Guizhouia gregalis*-*Gigantonoclea hallei* 亚组合。其时代,①、②、③亚组合属于晚二叠世早期;④亚组合属于晚二叠世晚期。

(3) *Ullmannia bronii*-*Podozamites lanceolatus* 组合,其总体面貌与前两组合相似,主要差别在于松柏纲植物在该组合中处于优势地位,如 *Ullmannia*, *Walchia* 等;此外, *Podozamites* 等具中生代色彩的分子,已开始出现。时代为晚二叠世末期。

#### 形成条件

古地理 中国南方在早、晚二叠世为一广阔的沉积盆地,盆地北侧在秦岭—大别山一带,即通称“淮阳古陆”;东侧在浙闽粤沿海地带,通称“华夏古陆”,因后期构造变动及喷出岩覆盖,盆地北、东缘具体边界已难辨认,盆地中的中、上二叠统也缺失边缘相沉积;盆地西侧在四川成都地区至云南东部一带,通称“康滇古陆”,是川黔区晚二叠世沉积的主要陆屑供给区,其上并有火山喷发活动。三个古陆之间,是南方盆地与外界联通的隘口。在早二叠世晚期,江南区、浙赣区及闽粤区首先接受沉积;西部的康滇区及川黔部分区域则有喷出岩的堆积,扬子区及川黔区大部在茅口组沉积后一度处于隆起状态,遭受风化剥蚀;闽粤区、浙赣区为滨海地带,其西的江南区则为潟湖、海湾地带,海水主要来自广东南部。在晚二叠世,整个南方沉积盆地处于拗陷、接受沉积阶段,扬子区遭受长期海浸,沦为浅海,海水来自广西南部及四川西北部;其东、西两侧各区均为滨海低地,康滇古陆东侧属于滨海平原—高地。在滨海地带,一般都有成煤作用发生,尤其在川黔区,形成了丰富的煤炭资源。安徽铜陵—江西高安—湖南涟源—广东阳山一线在早二叠世晚期存在同沉积断裂,直接控制了沉积与剥蚀的边界。

古气候 中国南方早、晚二叠世以温暖湿润气候为主,晚二叠世在闽粤、浙赣区逐渐变为干燥气候,到

晚二叠世晚期,干燥气候的范围基本上扩展到整个南方。

含煤情况 中国南方早、晚二叠世含煤地层在各地均含可采煤层,但基本上属薄煤层,中厚煤层仅占少数;在大部分地区(主要为扬子区)以局部可采为主,煤层一般呈似层状。煤层发育较好,煤炭资源主要集中在川黔区,其次为江南区和闽粤区的一部分。

川黔区 煤炭资源集中于贵州盘县—四川重庆一带,有六盘水(见六盘水煤田)、织纳、川南、滇东等煤田,可采煤层1~33层,可采煤层总厚1~58m,以盘县、水城为最厚,向东、南、西逐渐减薄。煤种为烟煤及无烟煤。

江南区 煤炭资源相对集中于苏、浙、皖交界处—江西乐平—江西萍乡—湖南涟源—湖南郴州—广东韶关一线,有长广、萍乐、涟邵、郴耒及曲仁等煤田,可采煤1~5层,可采煤层总厚1~5m,在郴耒煤田局部地段有7层煤可采,总厚达30余米。煤种为烟煤、无烟煤。

闽粤区 以闽西南龙岩—永安一带及永春附近煤层层数多,总厚大,主要煤田有龙永(龙岩—永定)、永安、天湖山(永春县)等,含可采煤层3~16层,可采煤层总厚5~12m,但构造复杂、开采条件差。煤种均为无烟煤。

(田宝霖 王煦曾)

#### Wansandieshi hanmeidiceng

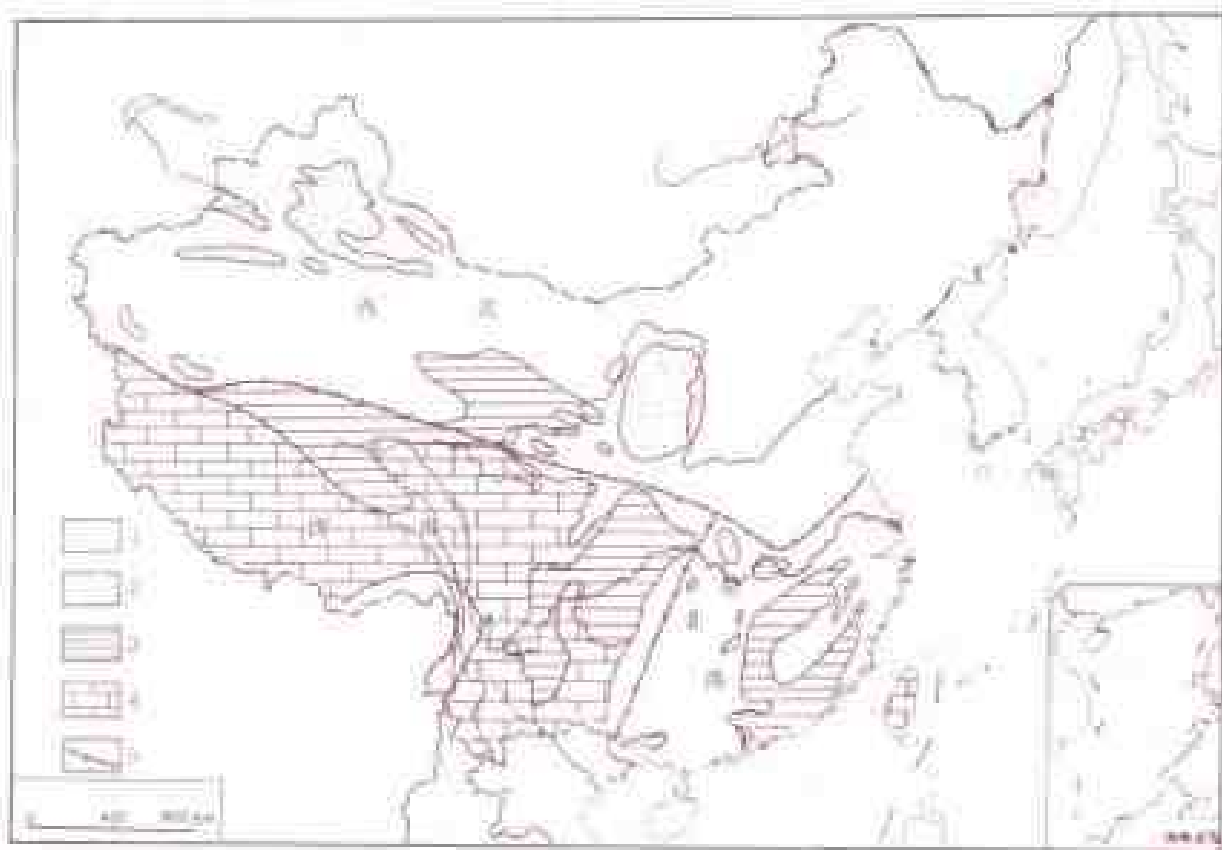
晚三叠世含煤地层 (Late Triassic coal-bearing stratum) 一套位于三叠系顶部、以陆相为主、部分属海陆交替相的碎屑岩含煤沉积,常与其上的早、中侏罗世含煤地层相伴出现,在中国分布范围广,以新疆、川滇等地含煤性较好。

地层特征 在中国东北及华北东部缺乏上三叠统分布,川滇西部及西藏中南部三叠系均属无煤的海相沉积,中国其余地区都有晚三叠世含煤地层发育(下页图),西北、西南、东南三区有不同的特征。

西北区 上三叠统一般整合于中三叠统之上,基本由粗、中、细粒砂岩,粉砂岩及泥岩组成,岩石组成比较简单,横向相变不显著,含煤层、煤线及油页岩,有时亦含少量红色、杂色砂泥岩薄层,按岩性可划分为下、中、上三部(表1),上部为主要含煤组层位。全统厚数百至千余米,产出丰富的植物化石,属拟丹尼蕨—贝尔瑞蕨植物群,并有双壳、介形、叶肢介、鱼等门类淡水动物化石,个别地点还发现昆虫。

西南区 上三叠统分下、中、上三部(表2),在不同地区以不同层位假整合覆盖于中三叠统之上。下、





中国晚三叠世古地理暨地层分区图

1—隆起、剥蚀区；2—内陆盆地；3—滨海平原及滨岸地区；4—浅海；5—地层分区界线

表1 西北区晚三叠世含煤地层对比表

| 地阶 | 塔里木盆地 | 准噶尔盆地 | 甘肃   | 甘肃东部 | 甘肃西部 | 鄂尔多斯盆地 |
|----|-------|-------|------|------|------|--------|
| 上  | 塔里木组  | 塔里木组  | 塔里木组 | 塔里木组 | 塔里木组 | 塔里木组   |
| 中  | 塔里木组  | 塔里木组  | 塔里木组 | 塔里木组 | 塔里木组 | 塔里木组   |
| 下  | 塔里木组  | 塔里木组  | 塔里木组 | 塔里木组 | 塔里木组 | 塔里木组   |

△ 主要含煤组；• 次要含煤组。

表2 西南区晚三叠世含煤地层对比表

| 地 层 | 藏 北         | 青 海<br>昆仑山 | 西 藏<br>昌都           | 川 西                  | 滇 西                 | 滇 中           | 滇 东                 | 黔 中<br>西 | 川 滇<br>交界 | 四 川<br>西昌<br>会理 | 陕 南<br>四川<br>黔北<br>滇东北 | 鄂 西      | 桂 南     |
|-----|-------------|------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------|---------------------|----------|-----------|-----------------|------------------------|----------|---------|
| 上 部 | 上二叠统<br>格拉组 | 八宝<br>山群   | 夺盖<br>拉组            | 喇嘛<br>组              | 麦初<br>管组            | 白土<br>田组      | 舍资<br>组<br>干海<br>子组 | 桥<br>组   | 宝鼎<br>组   | 白果<br>湾组        | 须家<br>河组               | 沙镇<br>溪组 | 扶隆<br>组 |
| 中 部 |             |            | 阿堵<br>拉组            | 拉纳<br>山组             |                     | 罗家<br>大山<br>组 | 火把<br>冲组            | 火把<br>冲组 | 三桥<br>组   | 大奔<br>地组        | 小塘<br>子组               |          | 平洞<br>组 |
| 下 部 | 结扎<br>群     |            | 王卡<br>组<br>甲不<br>拉组 | 图木<br>沟组<br>曲嘎<br>寺组 | 合洞<br>组<br>重古<br>松组 | 云南<br>驿组      | 乌格<br>组             | 把南<br>组  | 内南<br>组   |                 | 垮洪<br>洞组               |          |         |

△ 主要含煤组；。 次要含煤组。

表3 东南区晚三叠世含煤地层对比表

| 地 层 | 鄂 东 南    | 湘 西      | 湘 中<br>祁 阳 | 湘 南      | 粤 北                | 湘 东<br>赣 西          | 赣 东                 | 闽 西 南    | 闽 北     | 苏 南      |
|-----|----------|----------|------------|----------|--------------------|---------------------|---------------------|----------|---------|----------|
| 上 部 | 鸡公<br>山组 | 小江<br>口组 | 杨柏<br>冲组   | 杨梅<br>垅组 | 头木<br>冲组           | 三丘<br>田组            | 熊岭<br>组             | 文溪<br>山组 | 焦坑<br>组 | 范家<br>场组 |
| 中 部 |          |          |            | 出炭<br>垅组 | 民口<br>群<br>小水<br>组 | 安源<br>群<br>三家<br>冲组 | 安源<br>群<br>石塘<br>坞组 | 大坑<br>组  |         |          |
| 下 部 |          |          |            |          | 红卫<br>坑组           | 紫家<br>冲组            |                     |          |         |          |

△ 主要含煤组；。 次要含煤组。

中部为海陆交替相沉积(下部以海相层为主);上部为陆相沉积。上三叠统岩性以薄层状细砂岩、粉砂岩及泥岩为多,下部夹石灰岩,上部常含煤层,岩层横向延展较稳定,全统厚数百至千余米。下、中部产出大量海相化石,有头足类 *Tibetites*, 双壳类 *Halobia*, *Burmesia*, *Myophoria* 及腕足类、珊瑚等。上部产滨海相双壳类

*Yunnanophorus*, *Permophorus*, *Utschumiella* 及叶肢介 *Euestheria* 等化石。植物化石产于中、上部,除含格子蕨—网叶蕨植物群分子外,还有少量 *Danaeopsis*, *Bernoullia* 等西北区分子,以及 *Lureticopteris*, *Rireticopteris* 等该区特有分子。上部往往是主要含煤组所在,在川滇交界渡口—永仁一带则中部的大奔地组为



主要含煤组。

东南区 上三叠统亦分下、中、上三部(表3),一般与其下的中、下三叠统呈假整合接触。因上三叠统中、下部在该区不少地点缺失而使上部直接超覆于中、下三叠统之上。在粤北及湘东、赣西一带,上三叠统层位齐全,一般下、上部为碎屑岩含煤组,中部为海相泥质岩类,岩性岩相均较稳定,总厚500~1000m。该区其余地方上三叠统大部为碎屑岩含煤组,岩性较稳定,一般厚100~300m。统内产出植物属格子蕨—网叶蕨植物群,双壳类相当丰富,有 *Bakevella*, *Bakevella*, *Myophoriopsis*, *Unionites*, *Palaeopharus*, *Modiolus*, *Oxytoma*, *Tosapecten*, *Jiangxiella* 等,此外还有叶肢介 *Euestheria*, *Lioestheria* 等。

**形成条件** 包括古地理、古植物。

**古地理** 昆仑山—秦岭一线以北为广阔陆地,其间分布一系列内陆盆地,于晚二叠世接受沉积,主要的盆地有陕甘宁鄂尔多斯盆地及新疆准噶尔盆地。这些盆地在下、中三叠统已经形成的基础上进一步拗陷而成,因地势起伏不大,故沉积物在纵、横方向上延展均较稳定。昆仑山—秦岭一线以南,大体仍继承中三叠世海陆分布的地理格局;西藏及滇西、川西地区当时为古特提斯海,其北的藏北地区及其东的四川盆地、滇中地区,均属滨海地带,后期因海退而演变为滨海平原。东南部粤闽一带,当时有海水从太平洋涌入,以指状海湾形式向北插到赣东和闽北,在海湾旁侧为狭窄的滨海地带,稍远则有鄂南、鄂西、湘西等一系列小型陆上盆地。总体说来,西南区及东南区晚三叠世地势仍较简单平坦,当时地壳拗陷作用也还和缓。

**古植物** 以裸子植物松柏、苏铁及银杏类为主,蕨类植物次之。(参见彩图插页第29页)昆仑山—秦岭将全国划分为北方、南方两个植物地理区,北方型植物以楔叶纲,丁菲羊齿和舌叶属发育为特点,称为拟丹尼蕨—贝尔瑞蕨植物群;南方型植物以含真蕨纲双扇蕨科及丰富的苏铁纲分子为特点,称格子蕨—网叶蕨植物群。

(1)拟丹尼蕨—贝尔瑞蕨植物群。化石赋存于中国西北区上三叠统中,以 *Danaeopsis* (拟丹尼蕨) 和 *Bernoullia* (贝尔瑞蕨) 为代表,重要组成分子还有楔叶纲的 *Equisetites*, *Neocalamites*, 真蕨和种子蕨纲的 *Asterotheca*, *Todites*, *Cladophlebis*, *Thinnfeldia*, 银杏纲的 *Glossophyllum*, 松柏纲的 *Podozamites* 等,主要为蕨类,裸子植物次之,代表温暖潮湿气候,表明中国西北部当时处于温带。其代表时代基本为晚三叠世,植物群内部分子则可延续到侏罗纪。

(2)格子蕨—网叶蕨植物群。化石赋存于中国东南

区及西南区上三叠统中,以 *Clathropteris* 和 *Dicthyophyllum* 为代表,重要组成分子有:真蕨和种子蕨纲的 *Lepidopteris*, *Ptilozamites*, *Thaumatopteris*, 苏铁纲的 *Anthrophyopsis*, *Pterophyllum*, *Sinozamites*, *Sphenozamites*, 开通目 *Sagenopteris*, 银杏纲 *Ginkgoites*, 松柏纲 *Pityophyllum*, *Podozamites* 等,以裸子植物苏铁类最为繁盛,银杏、松柏、真蕨及种子蕨类等次之。这一植物群落代表了潮湿炎热气候环境,表明中国南方当时处于亚热带。植物群内不少分子可延续到早侏罗世,但 *Lepidopteris ottonis* (奥托鳞羊齿), *Ptilozamites chinensis* (中华叉羽叶), *Anthrophyopsis crassinervis* (粗脉大网羽叶) 等属种仅限于上三叠统。

**含煤情况** 西北区、西南区、东南区各有特色。

**西北区** 含煤组位于上三叠统上部,以薄煤层为多,常与油页岩、泥灰岩呈互层状产出,含可采煤层1~3层,位居靠下层位,常为复杂结构煤层,单层厚1~2m。可采煤层主要分布于新疆天山南麓,青海北部黑河、大通河河谷,陕甘宁鄂尔多斯,陕西富县、子长一带。

**西南区** 上三叠统上部含煤组分布广,一般含可采煤层1~5层,单层厚1m左右,比较稳定。中部含煤组仅于川滇交界渡口—永仁一带发育较好,煤层层数多(8~132层),厚度大而不够稳定,在云南永仁华坪最厚,大于50m,但延伸数公里即变薄尖灭。

**东南区** 在闽南、粤北的海湾相上三叠统的下部,一般含煤层,但灰分高,难以开发利用。在闽北部武,赣西萍乡、湘南资兴等地,上三叠统上部一般为含煤组,含可采煤层2~10层,但多呈似层状,厚度变化于0~20m之间。

(梅美棠 王煦曾)

wendu cejing

**温度测井** (temperature logging) 又称井温测井、热测井,测量钻孔内温度随深度变化的一种物探方法。它包括测量地温梯度和局部岩层的温度异常。

探测孔内温度的测温元件,早期使用温度系数较大的金属;近期使用热敏电阻,借助电桥精确测量传感器的电阻值间接确定温度。

孔温测量分瞬态测温与稳态测温两种方式。瞬态测温是在钻孔冲洗液刚停止循环时立即测量孔温,这时,冲洗液温度基本一致,但由于地温梯度及岩层的热阻不同,在不同岩层段会形成某些温度异常。稳态测温是在钻孔冲洗液停止循环相当一段时间后,即待冲洗液温度与岩层温度大致达到热平衡时测量孔温,通常是在冲洗液停止循环后每隔一定时间测量一次,直到

测量结果保持稳定为止。有时,为了特殊目的还可在第一次测量后抽出或注入部分冲洗液,改变钻孔内液位高度,再次测量孔温,借以突出由某些与冲洗液有交换作用的岩层水造成的异常。

通常,在地表至地下10~30m的深度范围内,岩层的温度受地表温度影响,随季节周期性地变化。在10~30m以深,岩层温度受地温梯度的影响,随深度的增大而缓慢升高。温度测井曲线在正常情况下为一条随深度增大温度逐渐上升的斜直线。当有含水(气)层的水(气)涌入钻孔时,由于其温度与孔内冲洗液温度不同,因而会引起温度测井曲线异常。①地下热水层会造成明显的高温异常。②含气层气体涌入孔内会造成压力降低而产生吸热膨胀效应,在温度测井曲线上呈现低温异常。有些煤层自燃在热测井曲线相应位置会显示正异常。

温度测井曲线可用来识别含水层、含气层,寻找地热资源,圈定煤层自燃火烧区范围,提交煤层温度数据,为煤矿编制通风设计、制订降温措施提供基础资料。

(刘家瑾)

#### wendingqi

**稳定器** (stabilizer) 又称扶正器,连接在靠近粗径钻具的一段钻杆柱上,用来稳定钻进方向的装置。它主要在软硬互层,岩性变化大,钻孔容易偏斜的岩层中应用。稳定器可用钢或钢与硬质合金、硬橡胶、耐磨工程塑料制成,其直径一般与粗径钻具相同,以便在钻进中保持钻具与孔底垂直,避免或减小钻孔偏斜。在特殊情况下,可根据岩层条件,采用大于或略小于粗径钻具的直径。稳定器数量和间距根据钻孔弯曲情况、岩层岩性、孔壁完整性和钻具质量确定。第一个稳定器一般安装在离粗径钻具很近的位置,既可直接与钻具用螺纹连接,也可套卡在钻具上;既可与钻具固定连接,也可设置轴承,使之能在钻具上自由转动。钻进时,固定连接的稳定器与钻具一起转动,外圈磨损较快,常用于钻具与孔壁间隙较小的情况;非固定连接的稳定器则相反。

在煤矿井下进行水平定向钻进(水平钻)和沿煤层定向钻进(煤层钻)时,可用稳定器与钻杆构成稳定组合钻具,通过改变稳定器的位置和调整钻进工艺规程,起增斜或减斜、保直的作用,使钻孔轨迹朝所要求的方向延深。

使用稳定器要配合相应的钻进工艺规程和合理的钻具级配。粗径钻具、钻铤、稳定器三者之间的直径、间距及在孔内的位置,都要依岩层岩性和钻具结构合

理选择,并随钻孔的延深作相应的调整。

(李 岳)

#### wendingzu

**稳定组** (liptinite) 又称类脂组。褐煤的显微组分组之一,主要由高等植物的繁殖器官、角质、木栓、分泌物和藻类等形成。稳定组术语1956年由苏联 И. И. 阿莫索夫(И. И. Аммосов)首先提出并被广泛采用。词源来自希腊文“λεπτός”,含剩余的、残留的意思。褐煤稳定组中的显微组分有孢子体、角质体、树脂体、木栓质体、藻类体、碎屑稳定体、荧光体、叶绿素体、沥青质体、渗出沥青体等,除叶绿素体外,其余显微组分的形态等特征与烟煤壳质组中相应的显微组分相似(见壳质组)。

**叶绿素体** (chlorophyllinite) 由植物叶绿素转变成稳定的显微组分。词源为拉丁文“chloros”和“phylon”,即绿色和叶子。它们多为直径1~5μm的小圆粒,藻类的叶绿素体有时可达100μm。它们在透射光和反射光中都不易识别,而以反射荧光下的血红色为特征。微弱分解作用足以使其向玫瑰色到乳白色转变。叶绿素体是由叶绿素类色素及其分解产物和无机成分组成,易于分解。在植物叶子、幼芽中大量赋存的叶绿素,在泥炭化作用发生之前,其主要部分已遭破坏,只有在强厌氧环境及较温和到寒冷的气候条件下才能得以保存。因此,叶绿素体的丰度与古气候、古环境有关,可作为相指标。德国强凝胶化的软褐煤、俄罗斯莫斯科石炭纪褐煤和中国中生代褐煤中,均有叶绿素体发现。

#### 参考书目

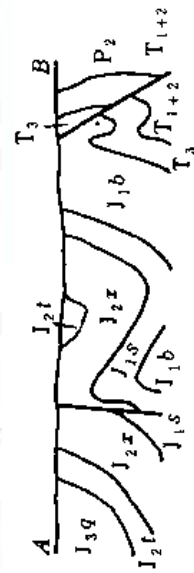
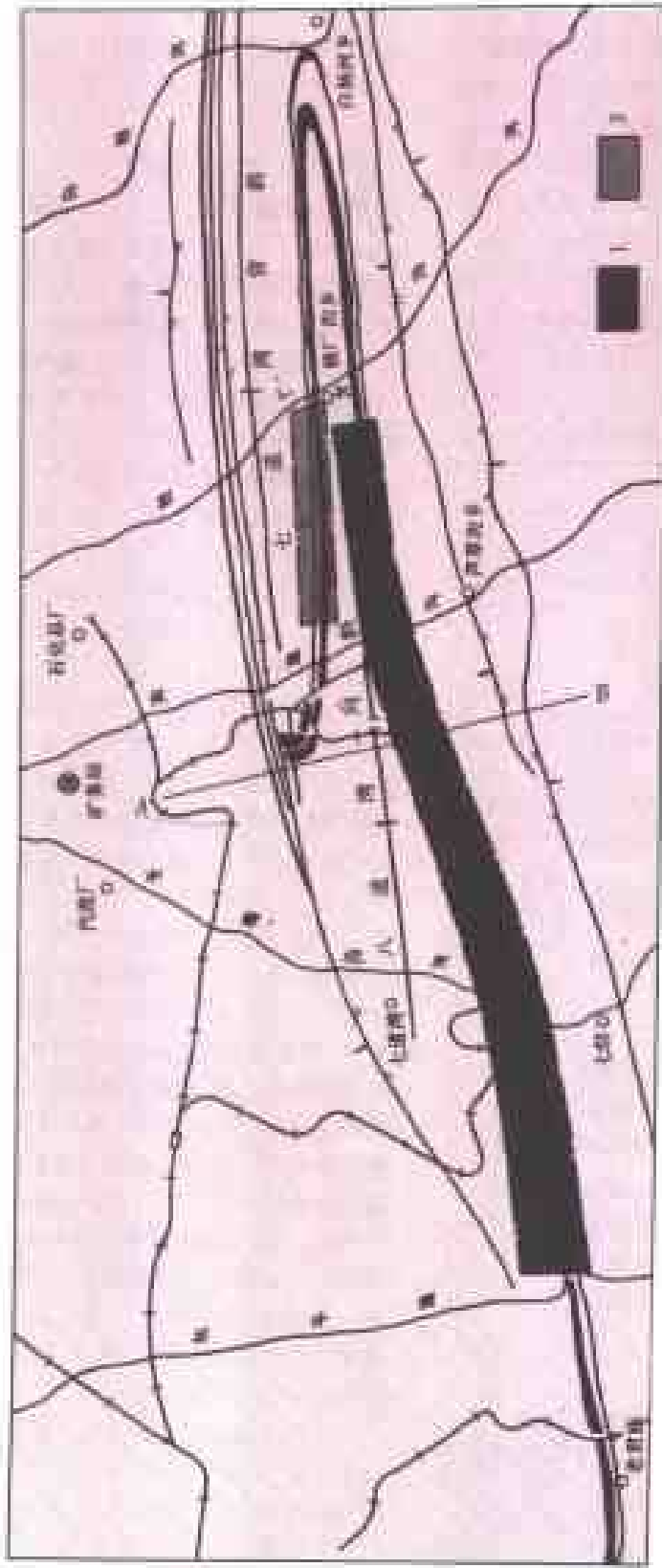
International Handbook of Coal Petrography, International Committee for Coal Petrology, Supplement to the 2nd Edition, Centre National de la Recherche Scientifique, 15 Quai Anatole-France, Paris (7<sup>e</sup>) France.

(张秀仪)

#### Ūrūmqi Meitian

**乌鲁木齐煤田** (Ūrūmqi Coalfield) 中国西北部重要的侏罗纪煤田。它位于新疆准噶尔盆地南缘,平面呈长条状,东西长约400km,乌鲁木齐市居煤田中部偏东。下分五个煤产地,自东而西依次为水西沟、阜康、乌鲁木齐、玛纳斯、四苏木。煤田东部的乌鲁木齐煤产地为当前主要生产矿区所在(下页图)。

**地质构造** 煤田处于准噶尔中、新生代盆地南缘的仰起部位,总体呈一向北陡倾的单斜构造,次级近东



乌鲁木齐煤田（东部）示意图

1—煤矿区：A—六道湾煤矿，B—苇湖梁，C—碱沟煤矿，D—小红沟煤矿，E—大洪沟，2—规划区；F—铁厂沟露天矿

一西向线状挠曲及褶曲发育,褶曲轴面向南南东倾斜,局部地层直立或倒转,中、小型断裂构造中等至简单。煤系属中、下侏罗统,下部为早侏罗世八道湾组,由陆相砂岩、泥岩夹煤层组成,厚1000m左右,含煤层10~19层,平均可采煤层总厚度10.70~16.41m;中部为早侏罗世三工河组,主要由陆相砂岩、粉砂岩组成,仅局部含煤,一般无开采价值,厚500m左右;上部为中侏罗世西山窑组,由砂岩、泥岩夹煤层的陆相岩组组成,含煤层28~39层,平均可采煤层总厚度97.88~134.70m。煤层多为中厚—厚煤层,但普遍发育1~3层特厚煤层,厚度可达30~50m。煤层以乌鲁木齐煤产地最发育,向东、西两侧延伸含煤性逐渐变差(表1)。

表1 乌鲁木齐煤田含煤情况简表

| 煤产地  | 含煤情况                       |
|------|----------------------------|
| 八道湾  | 含煤层10~19层,总厚度10.70~16.41m  |
| 三工河  | 含煤层1~3层,总厚度1.50~5.00m      |
| 西山窑  | 含煤层28~39层,总厚度97.88~134.70m |
| 乌鲁木齐 | 含煤层1~39层,总厚度10.70~134.70m  |
| 玛纳斯  | 含煤层1~3层,总厚度1.50~5.00m      |
| 四棵树  | 含煤层1~3层,总厚度1.50~5.00m      |

**煤炭资源** 煤炭资源量约100Gt,已探明煤炭储量约4Gt。大部分煤种为长焰煤,部分为弱粘煤或不粘煤,局部有少量气煤;煤一般为低灰分、低硫分,少数属中等灰分,是一种比较优良的燃料用煤。煤田南侧晚二叠世芦草沟组内夹有5~23层油页岩,总厚度34~66m,有开发利用前景。

**开采条件** 煤田的煤炭资源丰富,含煤密度高达60Mt/km<sup>2</sup>,地理位置比较优越,煤层虽多属急倾斜至倾斜煤层,但煤层厚度大,构造尚较简单,顶板比较稳定,开发条件甚好,部分区段的浅部尚可进行露天开采。矿井水大多属裂隙充水,且主要由地表水顺煤层走向补给,水文地质条件简单。矿井瓦斯含量不高,一般属低瓦斯矿井。煤尘有一定的爆炸危险,九道湾矿曾发生过煤尘爆炸。煤的自然发火现象普遍,现有生产井浅部基本上皆有火区存在。

表2 乌鲁木齐矿务局各矿产煤能力表

| 矿   | 能力 (Mt/a) | 矿   | 能力 (Mt/a) |
|-----|-----------|-----|-----------|
| 八道湾 | 0.90      | 碱沟  | 0.40      |
| 苇湖梁 | 0.75      | 大沟湾 | 0.10      |
| 小红沟 | 0.30      | 合计  | 2.45      |

**开发概况** 乌鲁木齐煤田所产煤炭基本上供应本地或邻区,开发程度相对较低。区内主要有乌鲁木齐矿务局,下辖五个煤矿(表2),年产量约2Mt;地方国营及乡镇煤矿1985年底的年生产能力为3.54Mt。

(王煦曾)

wuxian dianbo toushifa

**无线电波透视法** (radio penetration method)

向地下地质体发射高频无线电波,通过观测这种电磁波在传播过程中其场强的衰减情况,确定地质异常体的位置和形态的一种交流电法勘探方法。它通常在两个钻孔之间,或两条巷道之间进行,不用在地下埋置传感器,工作简便,勘探效率高,透视距离可达500~600m左右。

**发展概况** 无线电波透视法于20世纪20年代首先由苏联地球物理学家A. Л. 彼特洛夫斯基(A. Л. Петровский)提出。50年代末,苏联采用该方法在钻孔间和坑道间寻找金属盲矿体。随后,又将其用于岩溶探测和矿井下探测。中国在20世纪60年代初研制出无线电波透视仪并进行了方法试验。中国煤炭工业部门于70年代初用其探测老窑和喀斯特洞穴,70年代中期开始将这一方法用于矿井勘探,并研制出了矿井专用的防爆型坑道透视仪,迅速在不少矿区推广应用,现已成为矿井地质工作的重要手段。

**原理** 由于不同岩石的电阻率、介电常数等电性存在差异,因而向地下发射的高频电磁波在传播过程中,不同岩石对其能量吸收作用的大小亦各不相同,电阻率高的岩石对电磁波能量吸收作用小;相反,则吸收作用大。同时,断层界面、岩石裂隙面会使电磁波产生反射、折射和散射,造成其能量损耗。导水裂隙带还能强烈吸收电磁波。根据上述物理前提,用一个固定频率的电磁波发射器向被探测地质体发射无线电波,在该地质体的另一端接收透过被测地质体的电磁波信号,就能凭借该信号能量的衰减情况,推断地质异常体是否存在。当高电阻地质体中分布有低电阻的异常体时,在相应的接收点处能观测到无线电波场强明显衰减,有一个低值区(阴影区)。通过改变发射点或接收点位置多次分别观测,可确定地质异常体的位置和形态等。从而解决有关地质问题。

发射电磁波频率的高低,直接影响透视的距离和分辨异常的能力。频率高,介质对电磁波能量吸收大,穿透距离小,但分辨能力高;频率低,介质对其能量吸收小,穿透距离大,分辨能力低。实际工作时,通常根据所探测地质体的特点,选择合适的工作频率。

**无线电波透视仪** 一般由发射机(包括供电电源

和发射天线)和接收机(包括接收天线)两大部分组成。发射机把直流电源供给的直流电压通过振荡、放大,传输到发射天线,向被探测地质体发射固定频率的高频电磁波。频率的稳定性由石英晶体控制,发射机的频率稳定性要高,发射功率要大,以提高有效透射距离。接收天线接收穿过被探测地质体的电磁波信号,并将其输入接收机,得出实测测点处的场强值。

煤矿井下使用的坑道无线电波透视仪,必须具有防爆功能。

钻孔无线电波透视仪的发射装置和接收装置都安装在能下入钻孔内的密封金属管内,通过电缆向发射装置供电和把接收装置接收的信号传输到地面的控制器显示和存贮。为升降探管和缠绕电缆,发射钻孔和接收钻孔处都配置有绞车和相应的驱动装置。

**工作方法** 包括在两个巷道间进行的坑道无线电波透视法和在两个钻孔间进行的钻孔无线电波透视法。

**坑道无线电波透视法** 把发射机放在所探测采煤工作面的运输巷内,接收机则放在该采煤工作面的回风巷内。其具体工作方法有定点法和同步法两种。

**定点法** 把发射机位置固定,接收机沿巷道按一定测点间距(一般为10m,发现异常后适当加密)移动,观测每个测点处的电磁波场强值。为解决当接收点逐渐远离发射机时所接收信号的信噪比不断降低,最后无法保证观测质量的问题,通常每观测若干个测点后,发射点固定位置需移动,分段观测,但相邻两个发射点要重复几个接收点(图1)。

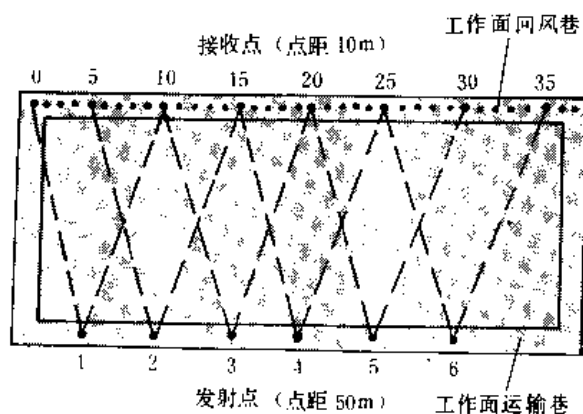


图1 定点法观测点布置示意图

**同步法** 发射机和接收机分别在工作面运输巷和工作面回风巷内按同一点间距向同一方向同步移动,观测每个测点的电磁波场强值。此法一般较少采用。

**钻孔无线电波透视法** 工作方法与坑道透视法大体相同,也可用定点法或同步法观测。

**资料解释** 无线电波透视法通常采用场强对比法进行资料解释,即把各测点上实测的电磁波场强值 $H$ ,与各测点上按公式计算出的理论场强值 $H_0$ 进行对比,用衰减系数 $\eta$ 表示二者的比值( $\eta = \frac{H}{H_0}$ )。①在无限均匀、各向同性的地质体内,实测场强值与理论场强值相等( $\eta = 1$ )。②当地质体内有良导电的石灰岩充水溶洞、煤层断层等异常时,相应测点上的实测场强值将小于理论值。将各测点的理论场强值、实测场强值和衰减系数值绘在单对数坐标图上(横坐标为测点间距,纵坐标为相应场强值和衰减系数),可显示出异常地质体在施测剖面上的投影位置;将被探测地质体两侧或更多方向巷道的解释成果综合绘制在平面图上,可圈定出异常地质体在平面上的位置、形态和大小(图2)。

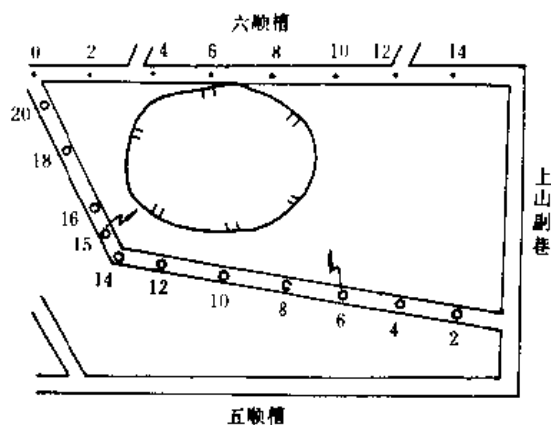


图2 某矿用无线电波透视法圈出的采煤工作面

喀斯特陷落柱位置、形状和大小

1-观测点位置及编号; 2、3-发射点位置;

4-圈出的喀斯特陷落柱

**应用概况** ①坑道无线电波透视法广泛应用于金属矿和煤矿井下。在金属矿主要用以寻找两个巷道之间的盲矿体和断层等。煤矿一般用以探查采煤工作面内岩溶陷落柱、火成岩体的有无及其位置、形状和大小;探测采煤工作面内小断层,煤层变薄带、冲刷带、底鼓和小型褶曲的位置等。②钻孔无线电波透视法多用以探测钻孔之间的金属盲矿体和断层破碎带;查明钻孔之间的溶洞、裂隙发育情况;了解地下水通道或渗漏带位置;测定煤层采动后底板破坏的深度和上覆岩层裂隙带发育的高度以及探测采空区的分布范围



等。

目前,无线电波透视法已发展到可用几个固定频率工作;采用微处理机对仪器操作进行自动控制;采集的数据可数字显示和存贮,并可传输到外接计算机进

行处理和成图;能应用层析成像技术、光学全息数字成像技术处理资料和绘图,使该方法的操作更加简便,观测精度、抗干扰能力和分辨能力明显提高。

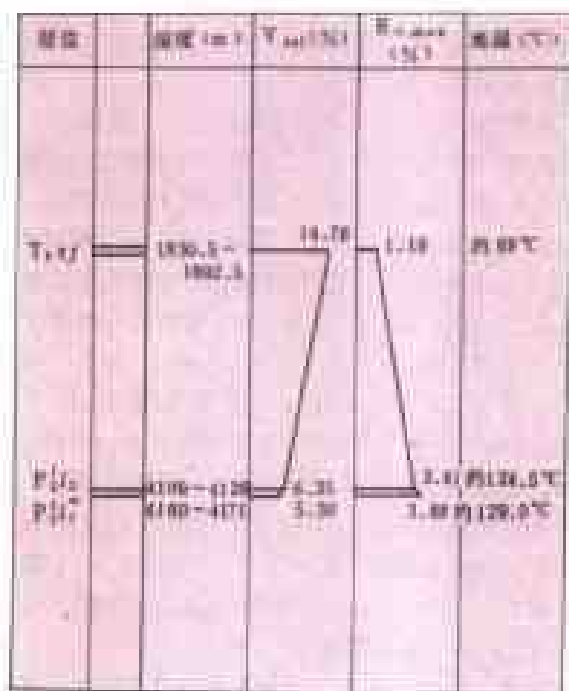
(黄治平)

## X

Xierte guilü

**希尔特规律** (Hilt's rule) 煤的变质程度(煤化程度)随埋藏加深而增高的规律。又称希尔特法则(Hilt's law)。德国C. 希尔特(Hilt, 1873)在研究德国鲁尔、法国加来和英国南威尔士诸煤田煤质变化的基础上,发现在岩层产状大体水平的条件下,煤的挥发分随埋藏深度的加大而减少,并测出鲁尔煤田埋深每增加100m,煤的挥发分降低2.3%。换句话说,就是煤埋藏越深,变质程度就越高。这一发现,经后人在实践中归纳后命名为希尔特规律。希尔特规律是煤深成变质的基本规律,具有普遍意义。希尔特规律在世界和中国各煤田中都已得到证实。德国鲁尔煤田中晚石炭世含煤岩系厚度超过5000m,煤层有100多层,自上

而下形成四个煤级带,即长焰煤—气煤带、气煤带、肥煤带和焦煤无烟煤带。中国黑龙江鸡西煤田中生代含煤岩系厚1000余米,含煤10余层,上部为低煤级烟煤,底部为中煤级烟煤;四川武胜某基井孔深6011m,穿过两套含煤岩系,位于埋深为1830.5~1892.5m的晚三叠世须家河组,其主要可采煤层煤的挥发分 $V_{daf}$ 为14.76%,镜质组最大反射率 $R_{o,max}$ 为1.19%,属瘦煤;下部的晚二叠世龙潭组,其 $P_2^{1/2}$ 的煤层和 $P_2^{1/1}$ 的煤层埋深相差仅约50m,前者煤的挥发分 $V_{daf}$ 为6.35%,镜质组最大反射率 $R_{o,max}$ 为3.61%,而后者煤的挥发分 $V_{daf}$ 为5.30%,镜质组最大反射率 $R_{o,max}$ 为3.88%,都已达到无烟煤阶段(左下图)。而其显微组分定量统计表明,须家河组煤的镜质组与半镜质组之和均在83%~86%之间,丝质组与半丝质组之和均在14%~17%之间,排除了显微组分引起的影响(表1)。



中国四川武胜县某基井资料  
(据杨起、韩德馨等, 1979 改编)

表1 中国四川武胜县某基井须家河组与龙潭组煤的显微组分含量

| 含煤岩系        | 显微组分 (%) |      |      |     |
|-------------|----------|------|------|-----|
|             | 镜质组      | 半镜质组 | 半丝质组 | 丝质组 |
| $T_{xu}$    | 75.1     | 8.2  | 16.1 | 0.6 |
| $P_2^{1/2}$ | 86.2     | 0    | 13.8 | 0   |
| $P_2^{1/1}$ | 85.2     | 0    | 14.8 | 0   |

(据杨起、任德昭等, 1979; 改编)

构造异常,岩浆侵入煤系,煤的煤岩组分、还原程度或成因类型的差异,都会引起煤层下部煤级高于上部,出现不符合希尔特规律的情况。徐州某煤矿晚古生代煤的挥发分随深度的加大而增高,出现异常(表2)。其主要原因在于太原组4号煤的藻类体含量高达70%,属腐泥煤类型,挥发分 $V_{daf}$ 高达43.98%,胶质层厚度 $y$ 值也高达28mm,碳含量、发热量、镜质组反射率等其它参数也都随煤级的增高作规律性变化。出

现这种情况,最好以镜质组反射率为主,综合采用多种煤级参数表示煤化程度(煤变质程度)。

表2 中国徐州煤田某矿煤的挥发分  
随深度而增高

| 煤 系   | 煤 层 | $V_{daf}$ (%) | y (mm) |
|-------|-----|---------------|--------|
| 下石盒子组 | 3号  | 36.64         | 11     |
| 山 西 组 | 7号  | 37.83         | 14     |
| 太 原 组 | 4号  | 43.98         | 28     |

影响煤变质(垂直)分带,除煤层上覆岩系厚度和煤层的层间距外,还决定于煤变质梯度。煤变质梯度指煤层埋藏深度每增加100m,煤级增高的程度,亦称煤级梯度或煤化梯度。煤变质梯度越大,煤级分带越明显;反之,分带现象就不明显。煤变质梯度常以挥发分 $V_{daf}$ 每100m降低的数值( $\Delta V_{daf}$ )或镜质组反射率 $R_o$ 每100m增高的数值( $\Delta R_o$ )表示,分别称为挥发分梯度和反射率梯度。不同地区的地温梯度不同,煤变质梯度也就有差异。中国阳泉、大同等煤田的挥发分梯度 $\Delta V_{daf}$ 为1.4%~3.3%,红阳煤田为3.15%,章邱煤田为4%。

#### 参考书目

W. Francis, Coal, sec. edit., 1960, Edward Arnold (Publishers) Ltd.

(杨 起)

#### Xini Meitian

**悉尼煤田** (Sydney Coalfield) 澳大利亚二叠纪煤田,位于澳大利亚东南部新南威尔士州,东临塔斯曼海,面积6万 $\text{km}^2$ ,是澳大利亚最早发现与开发的煤田,其煤炭资源量占全澳59%,年产量约占全澳45%。

**地层** 含煤岩系为二叠系,由上、下两个海相岩系和上、下两个含煤组组成。下含煤组格里塔(Greta)组分隔上、下海相岩系;上含煤组位于二叠系剖面的顶部。

下海相岩系称为达尔伍德(Dalwood)群,由砾岩、砂岩和页岩、凝灰质岩石、凝灰岩、漂砾岩和少数石灰岩组成。厚约1850m,与下伏地层呈不整合接触。在煤田西北部,该岩系含油页岩和不厚的煤层。

下含煤组由砾岩、少量透镜状砂岩、泥质岩和可采厚煤层构成,厚度30~180m不等,在煤田北部和东部边缘分布最广,沿走向出露达200km,在西部和南部不甚发育。

上海相层称为梅特兰(Maitland)群,厚1900~1950m,岩石成分类似于下海相岩系。

上含煤组厚约900m,可大致分为两个阶,即下部的托马格(Tomago)阶和上部的纽卡斯尔(Newcastle)阶。托马格阶由页岩与厚层砂岩或薄层泥质岩的互层组成,上半部含煤,煤层最多达九层,在煤田南部此阶尖灭。纽卡斯尔阶位于二叠系剖面最上部。在煤田西部和南部,与此阶相应的地层称为伊勒瓦拉(Illawarra)煤系。此阶又分下、中、上三部分,下部厚60m,几乎完全由砾岩和砂岩组成,含一层煤;中部厚30m,由粘土质页岩、钙质页岩、少量砂岩组成,含四层煤;上部由砂岩和粘土质页岩组成,有三层砾岩标志层,含煤层五层以上。

三叠系与二叠系基本呈整合接触,局部呈假整合接触。该系主要分布在煤田中部和南部,为河流湖泊相沉积,局部地区夹透镜状煤层。

**构造** 悉尼煤田位于塔斯曼地槽的前渊拗陷,构造不复杂,为一宽缓褶皱,轴向北北西。由于褶皱起伏、正断层发育及以后的侵蚀作用,煤田被分割成隆起的无煤区和沉降的含煤区,含煤地层的最大沉降深度为850~900m。煤田各部分褶皱特性不同,南部和东部由平缓向斜和单斜构成,且其一侧或两侧被正断层截断;西北部发育有穹隆构造,它们被断距为300m的走向正断层切割,岩层产状从近似水平至垂直都有。

富含煤的纽卡斯尔阶从滨海方向三面环绕煤田并延伸到海底,形成宽缓向斜。这一向斜被阶梯状正断层破坏,有许多基性岩侵入。

**含煤性** 可供工业开发的煤层位于二叠系上、下含煤组中。下含煤组中有上、下两层可采煤层,上煤层称主格里塔煤层,厚10m;下煤层称霍列维尔煤层,厚4~5m。此两煤层赋存于下含煤组上部,彼此相距6~35m,有些地方分岔。下含煤组煤层中含大量烛煤和藻烛煤夹层,含很多孢子、花粉,属于腐植煤与腐泥煤之间的过渡煤。煤的水分1.7%~2.6%,灰分3%~11%,挥发分40%~42%,低位发热量30.3~30.8MJ/kg,含硫中等或低,是澳大利亚最优质煤。上含煤组上部纽卡斯尔阶含煤程度高,约含煤14层,其中博尔霍尔煤层厚1.2~6m,工业价值最大。本阶煤层的煤为中变质腐植煤,其水分为2.5%~3.3%,灰分2%~22%,挥发分33%,硫分<1%,发热量25.1~30.6MJ/kg,大量用于炼焦。

**资源** 新南威尔士州的煤炭资源绝大部分蕴藏在悉尼煤田。该州煤炭资源量382.7Gt,全部为硬煤(烟煤和无烟煤,澳大利亚称为黑煤),分别占全澳煤炭资源量的59%,全澳硬煤资源量的73%。鉴别储量

80Gt; 证实储量 33.4Gt。其中, 可供露天开采的分别为 15.3Gt 与 13.9Gt; 可供地下开采的分别为 300m 以浅 36.7Gt 与 13.7Gt 和 300~600m 范围内 28Gt 与 5.8Gt。

**开采地质条件** 悉尼煤田煤层倾角较缓, 一般  $5^{\circ}$  左右, 断层少, 构造简单, 煤层厚度一般为 1.7~31.0m, 埋藏深度较浅, 300m 以浅的鉴别储量占煤田总鉴别储量的 45%, 适于露天开采的鉴别储量占煤田总鉴别储量的 19%, 目前露天矿产量占煤田总产量的 40% 以上。

**开发概况** 悉尼煤田于 1795 年发现, 1801 年开始在亨特河流域正式开采。20 世纪 60 年代以前, 澳大利亚的煤炭工业大部分集中在这一地区, 当时年产量 18Mt, 出口 1Mt。由于这一产煤区位于澳大利亚的工业区, 交通方便, 20 世纪 70 年代开始迅速发展, 到 1990~1991 年度, 产煤 96Mt 以上, 占全澳煤炭产量的 45%, 硬煤产量的 58%, 所产煤炭大部供应该区的钢铁厂和发电厂, 少部分出口。

(沈震鹏)

## xianwei meiyao leixing

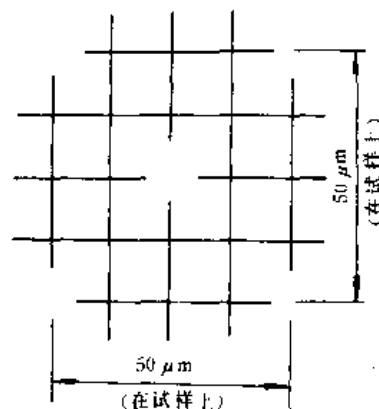
### 显微煤岩类型 (microlithotype of coal)

显微组分的共生组合。每一种显微煤岩类型都有各自的煤岩组成、物理性质和化学工艺性质特点, 并反映了一定的聚积环境。国际上, 显微煤岩类型的划分, 是在最小厚度  $50\mu\text{m}$  或最小覆盖面积  $50\times 50\mu\text{m}^2$  范围内, 测定各显微组分组 (或显微组分) 的体积百分数, 并按它们等于或大于 5% 的原则进行确定。每个类型可包含小于 20% (体积百分数) 的粘土矿物、石英、碳酸盐矿物或小于 5% (体积百分数) 的硫化物矿物, 其密度小于  $1.5\text{g}/\text{cm}^3$ , 共划分出由单组分、双组分和三组分构成的七个显微煤岩类型组 (下页表)。

由表可见, 所谓单组分的类型, 主要由一组显微组分组组成, 其含量大于 95%, 可含小于 5% 的次要显微组分; 双组分组类型要求两组显微组分都大于或等于 5%, 且两组分含量之和大于 95%; 三组分组类型则要求三种显微组分都大于或等于 5%。《国际煤岩学手册》(1971) 将上述七种类型称为类型组, 并按组成的显微组分不同, 划分为显微煤岩类型。上述分类的特点是双组分及三组分组类型中, 显微组分组 (或显微组分) 的变化范围较大, 因此在描述中常按所含显微组分的比例以“富”或“贫”某一显微组分来加确名称, 如富孢子微亮煤。所有显微煤岩类型的英文以“ite”结尾。

**测定方法** 一般是用煤砖光片进行测定。在反光

显微镜的目镜中放入 20 点网格片 (下图), 与 25~60 倍的油浸物镜配合, 使试样上的有效覆盖面积为  $50\times 50\mu\text{m}^2$ , 根据各显微组分组 (或显微组分) 以及矿物在网格交点上的数量来确定显微煤岩类型。用数点法统计每种类型的体积百分数。对于块煤光片还可以用目镜测微尺进行测定。



20 点网格片示意图

上述的显微煤岩类型分类属斯托普丝—赫尔伦 (Stopes—Heerlen) 系统, 虽以工艺目的为主, 但在一定条件下可视为成因单位, 它们与宏观煤岩类型和煤相有密切的关系。

**微镜煤** 镜质组含量大于 95% 的显微煤岩类型组。常见在煤中呈数毫米厚的分层或透镜体, 个别较厚。微镜煤条带通常由高等植物的茎、枝或木质化树根转变而成, 多形成于较深的闭流泥炭沼泽。其性质与镜质组一致。它们在挥发分大于 18% 的炼焦用煤中有很好的结焦性, 易破碎, 多集中于 1mm 以下的煤粒中。它们在挥发分大于 25% 的煤中易于氢化, 最易被氧化, 有自然倾向, 为矿井粉尘的重要组成部分。

**微壳煤** 壳质组含量大于 95% 的显微煤岩类型组。当孢子体、角质体特别密集或树脂体、藻类体足够大时方可测得。其性质与壳质组相同, 很少见。

**微惰煤** 惰质组含量大于 95% 的显微煤岩类型组。它们常见于南半球二叠纪煤和中国西部中生代煤中。其成因与性质与惰质组相同, 但其胞腔往往被矿物充填。

**微亮煤** 镜质组和壳质组含量之和大于 95%, 且两者含量均不小于 5% 的显微煤岩类型组。多数情况下, 微亮煤中的壳质组少于 20%。当其镜质组含量大于壳质组含量时, 称为微亮煤 V; 富含壳质组的微亮煤则称为微亮煤 E。微亮煤 V 由森林枯枝落叶层 (其中有孢子和角质层) 中的木材和树皮经强烈分解而成,

国际显微煤岩类型分类

|             | 显微组分组成<br>(不包括矿物质)   | 显微煤岩类型                                    | 各组显微组分组成<br>(不包括矿物质)                     | 显微煤岩类型组   |
|-------------|--|---|--|---|
| 单<br>组<br>分 | 无结构镜质体 > 95%<br>结构镜质体 > 95%<br>碎屑镜质体 > 95%   | (微无结构镜煤)<br>(微结构镜煤)                       | V > 95%                                  | 微镜煤<br>vitrinite  |
|             | 孢子体 > 95%<br>角质体 > 95%<br>树脂体 > 95%<br>藻类体 > 95%<br>碎屑壳质体 > 95%                                | 微孢子煤<br>(微角质煤)<br>(微树脂煤)<br>微藻类煤          | E > 95%                                  | 微壳煤<br>liprinite  |
|             | 半丝质体 > 95%<br>丝质体 > 95%<br>菌类体 > 95%<br>碎屑惰质体 > 95%<br>粗粒体 > 95%                               | 微半丝煤<br>微丝煤<br>(微菌类煤)<br>微碎屑惰质煤<br>(微粗粒煤) | I > 95%                                  | 微惰煤<br>inertinite   |
| 双<br>组<br>分 | 镜质组 + 孢子体 > 95%<br>镜质组 + 角质体 > 95%<br>镜质组 + 树脂体 > 95%<br>镜质组 + 碎屑壳质体 > 95%                     | 微孢子亮煤<br>微角质亮煤<br>(微树脂亮煤)                 | V + E (L) > 95%                          | 微亮煤 <sup>V</sup><br>E (L)<br>clarite <sup>V</sup><br>E (L)  |
|             | 镜质组 + 粗粒体 > 95%<br>镜质组 + 半丝质体 > 95%<br>镜质组 + 丝质体 > 95%<br>镜质组 + 菌类体 > 95%<br>镜质组 + 碎屑惰质体 > 95% |   | V + I > 95%                              | 微镜指煤 <sup>V</sup><br>I <sub>1</sub><br>vitrinerite <sup>V</sup><br>I <sub>1</sub>                   |
|             | 惰质组 + 孢子体 > 95%<br>惰质组 + 角质体 > 95%<br>惰质组 + 树脂体 > 95%<br>惰质组 + 碎屑壳质体 > 95%                     | 微孢子暗煤<br>(微角质暗煤)<br>(微树脂暗煤)               | I + E (L) > 95%                          | 微暗煤 <sup>I</sup><br>E (L)<br>durite <sup>I</sup><br>E (L)   |
|             | 镜质组、惰质组、壳质组 > 5%   | 微暗亮煤<br>微镜惰壳质煤<br>微亮暗煤                    | V > I, E (L)<br>E > I, V<br>I > V, E (L) | 微三合煤 <sup>V</sup><br>I <sub>1</sub><br>E (L)<br>vitracerite <sup>V</sup><br>I <sub>1</sub><br>E (L) |

注：1. 括号中术语尚未通用。

2. V 为镜质组，E (L) 为壳质组，I 为惰质组。

其中无结构镜质体占优势，常与微镜煤共生。含腐泥较多的微亮煤 V 形成在海水淹没的碱性沼泽环境中，在中国东部地区某些石炭纪煤中常见。微亮煤 E 与特殊的植物或水下沉积有关，常显示细密的显微层理，有时相变为腐泥煤。微亮煤的性质与其组成成分有关，由于孢子体、角质体韧性较大，致使微亮煤的裂隙较少，比

微镜煤有较高的强度。由于其膨胀性好，可塑性大，在炼焦过程中具有良好的结焦性能，其副产品取决于壳质组的成分和含量。它们在挥发分大于 25% 的煤中容易氢化，抗氧化性较微镜煤强。

**微暗煤** 惰质组和壳质组含量之和大于 95%，且两者含量均不小于 5% 的显微煤岩类型组。当其惰质



组含量大于壳质组含量时,称为微暗煤 I;当壳质组含量大于惰质组含量时,称微暗煤 E。微暗煤 I 中惰质组含量高,说明其形成于氧化的泥炭层表面,不时位于潜水面之上的环境。一般认为,富孢子微暗煤 E 形成于水下。微暗煤与微镜煤、微亮煤相比,有较高的强度,破碎后常富集在 1mm 以上的煤粒中。因其常含较多的矿物质,影响煤的可选性,炼焦性能也比微镜煤、微亮煤差,但影响程度取决于壳质组和惰质组的比例。微暗煤 I 可作为炼焦瘦化剂。在挥发分大于 25% 的煤中的微暗煤 E 易于氢化。微暗煤抗氧化性强,没有粉尘化倾向。

**微镜惰煤** 镜质组和惰质组含量之和大于 95%,且两者含量均不小于 5% 的显微煤岩类型组。其中,富惰质组的称微镜惰煤 I,是在泥炭沼泽经常干燥的条件下形成的,南半球二叠纪煤和中国西部中生代煤中大量出现;富镜质组的称微镜惰煤 V,主要由产孢子少的森林沼泽植物形成。微镜惰煤是在高煤级烟煤和无烟煤中常见的显微煤岩类型组,其性质介于微镜煤与微惰煤之间,裂隙较少,多在粒度大于 1mm 的煤粒中富集。

**微三合煤** 镜质组、壳质组、惰质组含量均大于 5% 的显微煤岩类型组。其中,镜质组含量大于壳质组、惰质组含量的称微暗亮煤;壳质组含量大于镜质组、惰质组含量的称微镜惰壳质煤;惰质组含量大于镜质组、壳质组含量的称微亮暗煤。微三合煤的性质介于微亮煤与微暗煤之间。

#### 参考书目

International Handbook of Coal Petrography, International Committee for Coal Petrology, Supplement to the 2nd Edition, Centre National de La Recherche Scientifique, Quai Anatole France, Paris (7\*) France, 1971.

E. 斯塔赫等,《斯塔赫煤岩学教程》,杨起等译,煤炭工业出版社,1990。

(张秀仪)

xiangcha

**详查** (preliminary exploration) 又称初步勘探,为矿区建设开发总体设计提供地质资料所进行的地质勘探工作。详查系在普查的基础上,根据煤炭工业规划的需要,选择资源条件较好、开发比较有利的地区进行。其主要任务是,①控制足以影响井田划分的主要地质构造;②掌握可能涉及矿区能否开发的关键性开采技术条件;③初步查明主要煤层的层位、产状、结构和厚度变化及主要可采煤层的露头位置;④从地质条件和储量数字上确保矿区的可建规模,不致因地质

情况不准而发生重大变动。

**工作内容与方法** 搜集和研究区内以往地质资料,特别是普查阶段的工作成果,结合对详查区的实地踏勘,了解矿区建设开发总体设计的意图,根据上级下达的任务,先编制详查勘探设计方案,经上级主管部门审批后,正式编制详查勘探设计,然后组织野外施工和及时进行“三边”工作,最后提交详查地质报告。

**勘探区的选择** 勘探区(勘探阶段地质勘探的工作区域。详查阶段,其范围为矿区;精查阶段,其范围为井田)选择,根据中国煤炭工业建设的布局 and 规划要求,遵循“先富后贫、先近后远、先浅后深、先易后难”的原则,既满足当前急需,又兼顾长远需要,选择资源条件好、开发有利的地段进行地质勘探工作。

**编制勘探设计** 根据上级下达的任务书和煤矿设计部门的具体规划,在充分搜集已有地质资料,并上山下山井进行实地调查的基础上,结合勘探区的地质特点、自然经济和环境条件等编制勘探设计,其内容一般包括目的任务、设计依据、工作范围、工作程度、勘探方案、工作部署、勘探工作量、施工技术、质量要求、组织措施、预计效果、储量预算等。它是勘探队详查施工的依据。

**组织野外施工** 详查勘探设计经上级主管部门审查批准后,即可按设计中规定要求组织野外施工。

(1)地质填图。①在暴露区,先进行实测地层剖面(全层实测地层剖面和重点层段实测地层剖面),对勘探区内出露的全部地层进行详细的分层,以段或亚段为填图单位,详细研究岩层厚度、成分、结构、分层标志、含煤特征,并系统地采集岩矿、化石标本,进行室内鉴定。重点层段地层剖面着重对含煤岩系及其上覆的 500~700m 地层进行分层研究,在详细了解各填图单位的标志、厚度、岩性和岩相变化的基础上,推断和控制勘探区的深部地质构造形态。详查阶段,地质填图的比例尺一般为 1:10000~1:25000;重点层段实测剖面的间距,一般为 2000~6000m,视勘探区地质构造复杂程度、矿区规模及资源条件而确定。②在隐伏区,在详细搜集航测、遥感资料和区域地质资料的基础上,根据普查工作的成果和物探、钻探等资料,编制出相应比例尺的基岩地质图或煤层露头图。

(2)坑探工程。在基岩裸露或覆盖层较薄的地区,可充分利用槽探、井探、巷探和沿煤掘进,结合小窑调查访问等手段和方法,揭露和查明浅部地质情况。详查阶段,主干槽的间距为 250~1000m,一般为 500m。

(3)地面物探。在半隐伏区或隐伏区,根据勘探区的物性特征和物探施工条件,选择适宜的物探方法。详查阶段,一般选用电法勘探和地震勘探控制勘探区隐

伏地质构造和煤层赋存状态等。物探测线的间距,一般比相应钻探工程的基本线距加密一倍。

(4) 钻探工程。钻探是中国目前煤田地质勘探的主要勘探手段,主要用于全面揭露和控制勘探区的地层、构造、含煤岩系、煤层、煤质、水文地质及开采技术条件等。在详查区内,先布置若干条主导勘探线,以较密的勘探工程,详细揭露勘探区内煤系和构造形态,指导基本勘探工程的施工。详查阶段钻探工程的基本线距,视地质构造复杂程度和煤层稳定程度不同而异(见勘探类型)。

(5) 煤质工作。详查阶段煤质工作的重点是,全面研究勘探区内可采煤层的煤质特征及其变化规律,研究煤的变质因素和煤种分布规律;并对煤的综合利用方向作出评价。煤样的种类和数量,试验项目及数量,在《煤炭资源地质勘探规范》中有具体规定。

(6) 水文地质工作。详查阶段的水文地质工作,要根据煤矿床水文地质类型,针对着重研究的问题,结合勘探区地貌、自然地理条件,因地制宜地选择勘探方法,综合运用钻孔简易水文地质观测、水文地质测绘、抽水试验、长期观测与采样、水文物探及其它有效手段。各项工程的质量和精度,应符合有关规程的规定。

(7) 其它开采技术条件的研究。一般与地质、水文地质勘探工作结合进行。在详查区内选择两三条倾向剖面 and 一条走向剖面上的钻孔,采取岩心进行工程地质观测。对主要可采煤层顶、底板,应采取一定数量的岩样,做物理力学性质试验。

详查阶段应在不少于三条勘探线上选择部分钻孔,系统采取各可采煤层的瓦斯煤样,测定各煤层的瓦斯成分和含量,初步划出二氧化碳-氮气带的下界,推测氮气-沼气带与沼气带的分界,了解各可采煤层瓦斯成分和含量在垂直方向上的差异。并采取煤样,对煤尘爆炸性及自然发火性能进行研究。

详查阶段,应在地温异常区或可能出现高温的地区,选择不少于 50% 的钻孔进行简易测温,并在其中选择 2~4 个钻孔进行近似稳态测温。测温钻孔一般应选择在向、背斜轴部,大断裂两侧,含煤岩系基底的隆起部位,岩浆侵入体边缘和勘探区深部等不同地段,并结合面上的控制和编制地温剖面图、等温线平面图等的需要,合理布置。普查阶段未发现地温偏高,类似的相邻地区亦未发现高温的生产矿井,且煤层埋藏深度小于 500m 时,本阶段一般可不做测温工作。

**提交地质报告** 详查地质报告是详查阶段勘探工作最终成果的反映。它主要是为矿区建设开发总体设

计和进一步精查勘探提供必需的地质依据,同时也为煤田地质科学研究提供必要的基础资料。

#### 详查程度要求

(1) 查明矿区的构造形态,控制可能影响井田划分的构造。评价矿区的构造复杂程度。

(2) 进一步研究含煤岩系。初步查明可采煤层的层数、层位、厚度、结构和可采范围,控制主要可采煤层的露头位置。

(3) 了解古河流冲刷、古隆起、陷落柱以及煤层燃烧等对煤层的影响范围。

(4) 初步查明可采煤层的煤质特征及其变化情况,确定煤类,初步划出其分布范围。初步确定风化带界线。了解煤的工艺性能,评价煤的工业利用方向。了解煤矸石质量。

(5) 详细了解火成岩的岩性、产状和分布范围,了解其对煤层和煤质的影响。

水文地质方面工作程度(见水文地质勘探)。

(7) 了解主要可采煤层顶、底板的工程地质特征,煤层的瓦斯成分和含量。详细了解恒温带的深度、温度、地温梯度及其变化,确定有无高温区,并初步划出一、二级高温区的范围。

(8) 了解其它有益矿产的赋存情况,作出有无工业价值的初步评价。

(9) 计算 B+C+D 级煤炭储量,其中 B+C 级储量一般不少于 70%,B 级储量一般为 20%~30%,且分布合理。构造复杂或煤层不稳定的地区,则只计算 C+D 级储量,其中 C 级储量一般不少于 50%。

**详终程度要求** 构造复杂,煤层不稳定,用 250m 的基本线距最高只能计算 B 级储量的井田,以详查为最终勘探阶段,提交详终地质报告。其工作程度要求是:

(1) 查明井田的构造形态和初期采区内的主要构造。井田边界构造应适当加密控制。

(2) 初步查明主要可采煤层的层数、层位、厚度、结构和可采范围;在第一水平内,对可采边界应适当加密控制。控制主要煤层的露头位置。

(3) 初步查明可采煤层的煤质特征,确定煤类及其分布。详细了解其它有益矿产的工业价值。

(4) 水文地质及其它开采技术条件等方面的工作程度,应根据实际需要确定(见水文地质勘探)。

(5) 计算 B+C+D 级储量,其中高级储量的比例应符合《煤炭资源地质勘探规范》中矿井高级储量比例表的要求,全井田 D 级储量的比例一般不大于 30%。

(左光国 艾树勋)



# Y

yanshi kezuanxing

**岩石可钻性** (rock drillability) (见**矿井建设卷**)。

yanxin caiquli

**岩心采取率** (core recovery percentage)

从钻孔中某一孔段采出的岩心长度与该孔段实际进尺的百分比。在一个回次内的岩心采取率称回次岩心采取率；在某一层岩层内的岩心采取率称分层岩心采取率。

其计算公式：

回次岩心采取率 (%)

$$= \frac{\text{本回次采出的岩心长度 (m)}}{\text{本回次实际进尺 (m)}} \times 100\%$$

分层岩心采取率 (%)

$$= \frac{\text{本层采出的岩心累计长度 (m)}}{\text{本层实际总进尺 (m)}} \times 100\%$$

在煤田地质勘探工作中，耗费大量人力、物力、财力和时间进行岩心钻探的根本目的，就是为了保质、保量地采出岩心，作为对勘探区进行地质研究、对矿产资源进行评价及储量计算的第一性实物资料。因此，岩心采取率是衡量钻孔质量的一项重要指标。采取岩心的质量要求是：采取部位准确，保持岩心的代表性和尽可能高的岩心采取率。这样，才能充分反映出所钻岩层在地下的特征。但是，要准确取得合乎质量、数量要求的岩心并不是轻而易举的事，特别对一些松散、破碎、酥脆、易溶蚀的岩层更是困难。这就需要针对岩层的具体特点，正确选用钻进方法和取心工具，采用合理的钻进规程，并认真进行操作。

(赵贵祥)

yaogan jishu

**遥感技术** (remote-sensing technology)

又称遥感，根据电磁辐射原理，远距离探测和识别地物的综合技术。它利用装置在地面、飞行器或航天器上的各种传感器，接收来自地球表面各类地物的各种电磁

波信息，并对这些信息进行处理、提取、分析和判读。

“遥感”(remote sensing)这一术语首先由美国地理学家 E. L. 普鲁特 (E. L. Pruitt) 于 1960 年提出，1962 年在美国首届环境遥感讨论会上被肯定。中国于 20 世纪 70 年代中期开始推广这一技术。

**原理** 通过遥感技术所获取的信息，实际上是目标物辐射的电磁波能量。电磁辐射以大约 30 万 km/s 的速度，把辐射源的能量通过自由空间直接或经过反射或再辐射间接传到遥感器上。据现代物理学，凡绝对温度大于 0℃ 的物体都具有发射和反射电磁波的能力。由于物体的物质成分、结构和作用于它们的内、外营力的不同，其电磁辐射能量也就不同。这些不同的电磁辐射能量被车载、船载、机载或星载传感器所接收，通过光电转换，就形成了各种不同的遥感图象。专业人员可根据图象上的各种不同色调和影象特征，并通过对图象信息的处理和译，来识别待测目标和现象。

**方法** 可从各种不同角度分类。

(1) 按使用的遥感平台(把传感器抬升到遥感目标上方的运载工具)可分为地面遥感、航空遥感和航天遥感。①地面遥感。将地物波谱仪或传感器安装在三角架、摄影塔、遥感车或遥感船上，对地面进行一定距离的感测，获取地物波谱或近景影象。②航空遥感。把传感器装在飞机、气球等运载工具上进行遥感。它按飞行高度又可分为低空遥感(<5000m)、中空遥感(5000~10000m)和高空遥感(10000~20000m)。③航天遥感。把传感器装在卫星、宇宙飞船、航天飞机等超高空运载工具上进行遥感。它按轨道高度又分为低轨道遥感(150~200km，其寿命短，仅一至三周)；中轨道遥感(350~1500km，其寿命长，约一年以上，与太阳同步)；静止轨道遥感(35800km)等三种。当前资源卫星遥感多采用中轨道遥感平台，包括美国的陆地卫星(Landsat)和法国的斯波特卫星(SPOT)等。航天飞机可重复使用，是一种很有前途的遥感运载工具。不同高度的遥感平台，可获得不同面积、不同比例尺、不同

地面分辨率的遥感图象。

(2) 按接收电磁波的方式可分为主动遥感与被动遥感。①主动遥感。又称遥测, 依靠人工向目标物发射强大的电磁波, 然后接收从目标物反射回来的电磁波, 根据所接收到的电磁波信息特征来识别物体。侧视雷达(微波)遥感即属这一方式。②被动遥感。利用机载或星载传感器接收、记录从目标物本身发射或反射来的电磁波, 并根据它们的信息特征来识别目标物的性质。资源卫星遥感即属这一方式。

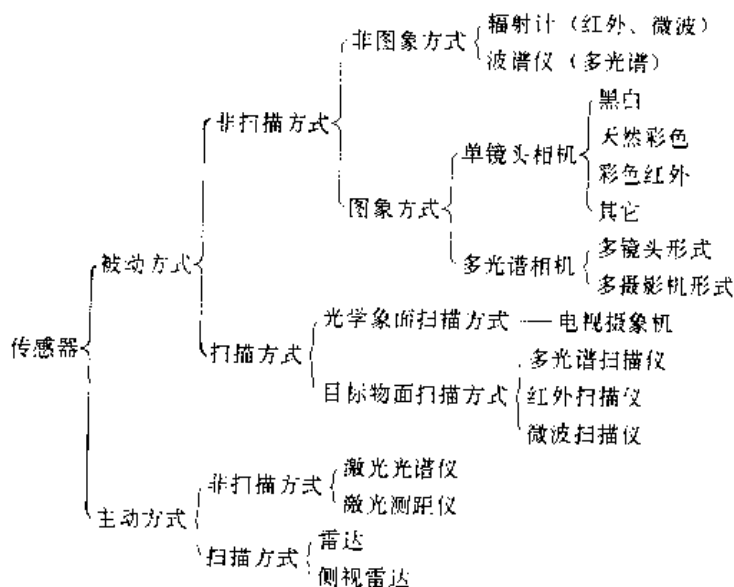
(3) 按选择的工作波段可分为多光谱遥感、热红外遥感和微波遥感。①多光谱遥感。通常使用可见光(波长范围  $0.4 \sim 0.76\mu\text{m}$ ) 和近红外( $0.76 \sim 2.5\mu\text{m}$ ) 波段。使用的传感器有多光谱摄像机和多光谱扫描仪等。它们接收的是物体的反射光谱。②热红外遥感。通常使用中红外( $3 \sim 5\mu\text{m}$ ) 和远红外( $8 \sim 14\mu\text{m}$ ) 波段。主要的传感器是热辐射扫描仪。所接收的是物体的发射(热辐射)光谱。③微波遥感。利用人工发射的微波波段( $1 \sim 1000\text{mm}$ )。通过接收从目标反射回来的信息来探测目标。雷达即属这一方式。由于该波段不受阴雨和昼夜的限制, 因而为全天候遥感。

(4) 按信息记录形式可分为图象式遥感与非图象式遥感。①图象式遥感。把物体辐射(反射或发射)的

电磁波的能量分布状况以图象色调的深浅(密度)来表示, 其信息数据是相对的。②非图象式遥感。沿着运载工具的运行轨迹, 利用波谱仪或辐射计对辐射强度进行连续或断续地数字式测量。其测定值为绝对值, 为图象分析提供依据。图象式遥感又分为摄影方式和非摄影方式。前者用单镜头或多镜头遥感摄像机来实现, 根据设计的遥感波段, 选择相对应的滤光片和感光胶片, 对目标物进行某一特定波段或某几个特定波段辐射能量的摄影测量。遥感摄像机使用胶片的感光范围, 已从可见光谱区扩展到紫外和近红外的一部分。后者主要是通过光学机械式扫描装置(通过扫描镜以固定视场角对目标物进行扫描成像的光电系统)来实现。选用相适应的光电敏感探测元件, 可在紫外、可见光以及红外等波段范围获得各种遥感图象。这是获取资源遥感信息的主要方式。当前, 遥感工作者最常用的遥感信息主要来自美国陆地卫星(Landsat 1-5)的多光谱扫描仪(MSS)和主题绘图仪(TM), 法国斯波特(SPOT)卫星的高分辨率扫描仪(HRV)以及合成孔径侧视雷达(SLAR)等。

遥感方式与传感器种类有直接对应的关系, 上述遥感方法的分类可用下面的框图加以概括。

资料类型 分为遥感图象和遥感磁带两大类。图



遥感方式分类图

象可通过模数转换(A/D)变成数字记录在磁带上(借助数字化器来实现); 磁带可通过数模转换(D/A)变成模拟光点, 记录在胶片或象纸上(借助鼓式记录器实现)。

遥感图象 地物在某一光谱段范围内的电磁辐射能量胶片或象纸上记录与反映。不同地物在同一波段

图象上的不同表现和同一地物在不同波段图象上的不同表现, 为目标物的判读提供了丰富的识别信息。遥感图象的种类主要有①紫外摄影图象; ②普通航空摄影图象; ③红外摄影图象; ④自然彩色摄影图象; ⑤彩色红外摄影图象; ⑥多光谱摄影图象; ⑦多光谱扫描图象; ⑧热红外扫描图象; ⑨侧视雷达图象等。多光谱图

象还可合成为假彩色图象。

地质专业人员最常用的卫星遥感图象,主要有 MSS 图象、TM 图象、HRV 图象(下表)。

常用的资源卫星遥感图象表

| 数据种类            |                  | 光 谱 波 段   | 波 长<br>( $\mu\text{m}$ ) | 地面<br>分辨率<br>(m) |
|-----------------|------------------|-----------|--------------------------|------------------|
| Landsat         | MSS <sub>1</sub> | 绿光波段      | 0.55—0.65                | 79               |
|                 | MSS <sub>2</sub> | 红光波段      | 0.65—0.70                | 79               |
|                 | MSS <sub>3</sub> | 近红外波段     | 0.70—0.80                | 79               |
|                 | MSS <sub>4</sub> | 近红外波段     | 0.80—1.10                | 79               |
|                 | TM <sub>1</sub>  | 蓝紫光波段     | 0.45—0.52                | 30               |
|                 | TM <sub>2</sub>  | 绿光波段      | 0.52—0.61                | 30               |
|                 | TM <sub>3</sub>  | 红光波段      | 0.63—0.69                | 30               |
|                 | TM <sub>4</sub>  | 近红外波段     | 0.78—0.90                | 30               |
|                 | TM <sub>5</sub>  | 近红外波段     | 1.27—1.78                | 30               |
|                 | TM <sub>6</sub>  | 远(热)红外波段  | 10.4—12.5                | 120              |
| TM <sub>7</sub> | 近红外波段            | 2.13—2.35 | 30                       |                  |
| Spot            | HRV              | 绿光波段      | 0.50—0.58                | 20               |
|                 |                  | 红光波段      | 0.61—0.68                | 20               |
|                 |                  | 近红外波段     | 0.78—0.88                | 20               |
|                 |                  | 全 色       | 0.57—0.73                | 10               |

**遥感磁带** 包括数字磁带和模拟磁带。①数字磁带。直接记录机载或星载传感器探测的遥感信号磁带。它又分为高密度数字磁带(HDDT)和计算机兼容磁带(CCT)。高密度磁带是原始数据的贮存工具,用户不能直接用来作增强处理,而必须将高密度磁带转换成计算机兼容磁带。遥感用户使用 CCT 磁带。②模拟磁带。最初记录在摄影胶片上的遥感图象,可通过数字化器变成数字格式,并记录在影象模拟磁带上。无论哪种遥感磁带,经计算机增强处理后,最终都以图象形式提供给遥感解译人员。

**解译程序** 遥感资料具有共享性,不同专业人员可从中提取各自所需的信息。解译程序和内容因各专业要求不同而有所不同。煤田地质和矿井地质专业采用的遥感解译工作程序是,资料准备→制作镶嵌图→图象增强处理→建立影象解译标志→现场调查→最终成图和提交报告。

**资料准备** ①收集与工作区有关的各种遥感资料,重点是 MSS、TM、HRV 的图象和磁带。②收集与工作区有关的各种地质、物探、气象、水文及植被、土壤、地貌等资料,以便综合分析。③收集相应比例尺的地形图和分层着色地图。

**制作镶嵌图** 用其作为解译时的工作底图和影象地图。同时,便于进行全区性的宏观分析。

**图象增强处理** 用户针对研究目标,选择适当的光学和计算机图象处理方法,获取所需要的增强图象资料,以增强图象中的目标信息,抑制非目标信息,增大解象能力。图象增强的主要内容包括:彩色增强、反差增强和频率增强。增强的主要方法有:假彩色密度分割、假彩色合成、线性扩展、直方图调整、高通滤波、低通滤波、傅里叶变换、KL 变换、哈德曼变换、监督分类和非监督分类等。

**建立影象解译标志** 充分利用遥感资料和各种地质资料,通过目视解译和综合分析,建立目标区(地质体或地质现象)的影象识别标志。根据它确立目标区的范围、形态和性质。

**现场调查** 对影象识别标志和初步解译结果进行现场调查、核实和修正。

**最终成图和提交报告** 提交的解译图件,通常包括:岩性解译图、线性构造解译图、环形构造解译图、综合地质解译图以及水系解译图、地貌解译图、植被解译图、土壤解译图等。

**应用** 遥感技术在中国煤炭工业中的应用起步于 20 世纪 70 年代末。此后,应用领域逐步扩大。多年来遥感技术在煤炭资源勘探与开发、煤炭工业生产与管理、矿区环境监测与治理等方面,取得了重要成果。

**指导找煤** ①煤炭科学研究总院西安分院在湘东南栗江井田,通过对卫星遥感信息的全面分析,在红层掩盖区新发现了一个含煤向斜——柏坊向斜,并已为钻探工程所证实,为煤炭短缺的湘东南地区提供了一个新的煤炭产地。②煤炭工业部遥感局与吉林煤田地质研究所利用遥感手段,通过对含煤构造的研究,在大兴安岭西坡掩盖区发现了乌尼特煤盆地,经钻探验证,见煤总厚度 40m,储量达 3.4Gt。③煤炭科学研究总院西安分院利用卫星遥感资料,通过计算机图象增强处理和信息提取,对人员难以涉足的四川若尔盖沼泽区的泥炭资源进行了调查,查清了该区泥炭资源的赋存状况,经现场核实和钻探验证,该泥炭田面积 4038km<sup>2</sup>,资源量 5.3Gm<sup>3</sup>(参见彩图插页第 34 页)。

**修测煤田地质图** 甘肃煤田地质勘探公司综合普查队利用卫星图象,并结合 1:6 万航摄像片,对甘肃潮水盆地的煤田地质图进行了修测,查明了长期争论不决的盆地边界,发现了若干条原煤田地质图未表示的隐伏断裂,对今后的勘探部署和找煤方向提供了重要依据。广东煤田普查物探队采用航片、卫片相结合的

解译方法,在广东英德—翁源地区开展1:5万和1:10万的煤田地质测量,对原煤田地质图进行了修测,纠正了原图的错误,增添了新发现的内容,提高了原图的质量,加快了普查速度,还在大安洞北侧新发现了测水组含煤区域。

**其它应用** 煤炭工业部遥感局对神木煤田的火烧区进行了彩色红外等航空遥感研究,准确地圈定了火烧区及烧变岩的分布范围;在铜川矿区开展了环境遥感的研究,彩红外图象信息指示出植物异常区的分布,为环境治理提供了依据。

(范士忠)

### Yilinuosi Meitian

**伊利诺斯煤田** (Illinois Coalfield) 美国石炭纪煤田,分布范围包括美国东中部伊利诺斯州大部分、印第安纳州西南部和肯塔基州西北部。密西西比河是煤田西部自然边界。煤田沿北北西—南南东方向延伸,长约640~650km,宽度最大约320~330km,总面积12.9万km<sup>2</sup>。该煤田的证实烟煤储量占全美的41%,年产量约占全美的20%。

**地层** 含煤岩系主要为中、上石炭统宾夕法尼亚系。

下伏地层为下石炭统密西西比系。由砂岩、页岩、石灰岩组成,其上部发现有不稳定煤夹层。

宾夕法尼亚系。不整合地沉积在密西西比系之上,其厚度变化大,在煤田边缘厚约143~368m,中部增大到985m。该系岩性旋回结构明显,砂岩、页岩、石灰岩和煤层交替出现,至少能划分出51个旋回。其中,砂岩占36%,页岩占58%~59%,石灰岩占3%,煤层占2%~3%。宾夕法尼亚系可分为上、中、下三个岩组。下部岩组大部分为河流沉积的砂岩和泥岩,煤层薄且分布范围小,石灰岩很少或没有;中部岩组呈现发育完好的旋回沉积,其中页岩、石灰岩、煤层常见,是主要含煤段;上部岩组也为旋回沉积,但其中海相沉积比前两个岩组更多,有较厚、较多的石灰岩层,煤层较薄。

含煤岩系之上,星散地分布着厚达300m的中生代地层和新生代更新世冰川沉积。

**构造** 伊利诺斯煤田是一个宽缓的不对称勺形大向斜,沿北北西—南南东方向延展。这一大向斜主要由宾夕法尼亚系占据,周围环绕有密西西比系。

煤田周缘呈现次级隆起及穹窿等正向构造,岩层为缓倾斜,倾角由煤田边缘向中心逐渐减小,中央部分的岩层几乎呈水平状。煤田内部有一系列次级背斜、穹窿及许多断层,最大的背斜位于煤田北部,大的断层常

被小的横断层切断,构造较复杂。

**含煤性** 宾夕法尼亚系中含煤层75层以上,其中可采煤层有20层,但煤层总厚不到整个含煤岩系总厚的3%。煤层大多不连续,厚度也不稳定。其上部和下部岩组中的煤层薄且不连续;中部岩组的1~7号煤层厚0.6~2.6m,一般连续,是该煤田主要煤层。其中,尤以5号煤层即斯普林菲尔德—哈里斯堡(Springfield—Harrisburg)煤层和6号煤层的厚度和结构较为稳定,分别为1.2~2.4m与1.8~4.5m,几乎遍布整个煤田,是该煤田中最重要的和开采最广泛的煤层,其产量约占全煤田的90%以上。

该煤田的煤基本属低灰、高硫和高挥发分烟煤,局部有低硫煤。其煤质分析值一般为:水分5%~20%;灰分6%~14%;硫分2%~5%;挥发分31%~40%;发热量25~33MJ/kg。5、6号煤层煤的灰分为7%~11%,硫分为1%~5%,从整个煤田看,煤级从南东往北西逐渐降低。

**资源** 伊利诺斯煤田主要赋存烟煤资源,其煤炭资源量328.4Gt,占全美煤炭资源量的9%。煤田勘探程度较高,鉴别储量(计算深度900m)193.5Gt,占全国烟煤鉴别储量的29%,证实储量89.3Gt,占全美的21%,其中烟煤占41%。

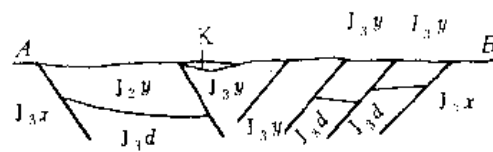
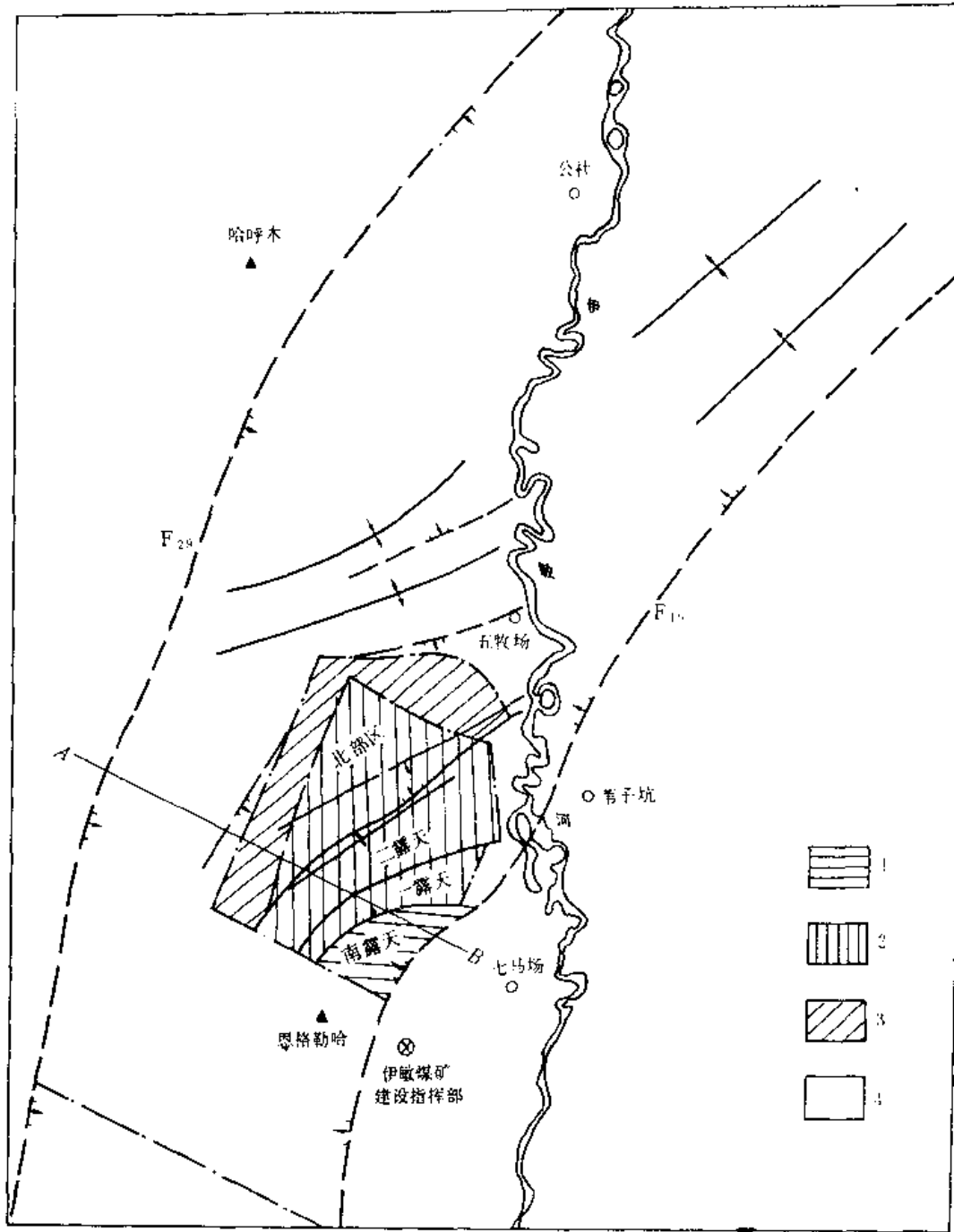
**开采地质条件** 煤层产状近似水平,且出露地表或埋藏深度浅,上覆地层厚度均不到900m,主要煤层埋深在450m以浅。然而,由于这一产煤区位于平原农业区,美国环保法对地表下沉与复田规定严格,因而其煤炭开发受到限制。另外,其煤中硫分较高,煤炭产量也难以大幅度提高。

**开发概况** 伊利诺斯煤田于17世纪中期发现,1810年前已正式开采。它紧靠煤炭需求量大的大型工业区,所采煤炭主要就近供应发电,煤产量比较稳定。20世纪70年代煤年产量超100Mt,现年产量约150Mt。多数矿位于煤田边缘,露天矿多,其产量约占全煤田总产量的60%。部分采用矿井生产,井深300m以浅。

(沈震鹏)

### Yimin Meitian

**伊敏煤田** (Yimin Coalfield) 中国东北聚煤区晚侏罗世呼伦贝尔盆地群内的一个煤盆地。它位于内蒙古鄂温克族自治旗境内,平面呈长条状,南北长50km,东西宽15km,面积约700km<sup>2</sup>,伊敏河斜穿煤田中部(下页图)。目前已开发、勘探的是煤田中部约90km<sup>2</sup>的区段,该区北距海拉尔市85km,已筑有铁路专线。



伊敏煤田示意图

1—生产区；2—规划区；3—普查区；4—找煤预测区



**地质构造** 呼伦贝尔盆地群是晚侏罗世后期, 发育在晚侏罗世前期兴安岭火山岩群之上的一系列北东至北北东向雁行式排列的内陆坳陷(或断陷)盆地, 伊敏煤田是其中已确知有煤赋存的一个。煤盆地平面总体呈北北东走向, 东、西两侧都有盆缘断裂, 均属正断层。煤盆地内主要为晚侏罗世含煤地层及早白垩世地层, 多组成一系列北东向的宽缓向、背斜, 且以短轴或倾伏向、背斜为主; 含煤地层倾角平缓, 一般均小于 $10^{\circ}$ , 中、小型断裂较少。

**煤系** 伊敏煤田的晚侏罗世含煤地层称扎赉诺尔群, 由上、下两部分组成, 下部为大磨拐河组( $J_3d$ ), 厚1300m; 上部为伊敏组( $J_3y$ ), 厚500~800m。上、下两部分均由陆相砂岩、泥岩、粉砂岩及煤层组成, 惟大磨拐河组下部多凝灰质砂岩。大磨拐河组含煤层13层, 其中大部可采, 煤层总厚度自东向西减薄, 平均可采煤层总厚度85.29m。伊敏组含煤层17层, 其中可采煤层6层, 厚度由中部向四周减薄, 可采煤层总厚度在110m以上。

**煤炭资源** 伊敏煤田煤炭资源总量约17.7Gt, 其中探明煤炭储量5Gt。已勘探区的煤种, 除区北五牧场附近有少量的气、肥、焦、贫等煤种出现外, 全为褐煤, 褐煤灰分为5%~18%, 发热量 $1.2\sim 1.6\text{J/kg}$ , 硫分极低。

**开采地质条件** 伊敏煤田煤层厚而平缓, 浅部可露天开采, 目前探明储量中的半数以上均可露采。该煤田富水性强, 地表水、大气水补给和地下承压水均较丰富, 开采时需加强疏干措施。煤层顶底板以泥岩及泥质粉砂岩为主, 露天开采时, 边坡稳定性差。

**开发简况** 伊敏煤田于1959年经煤田预测发现。20世纪70年代开展了大规模煤田地质勘探, 接着开始露天煤矿建设。1984年10月, 一号露天一采区投产, 能力1.00Mt/a, 可年产1.30Mt左右。规划到1995年建成年产5.00Mt的露天采区。

(王煦曾)

yingmei xianwei zu fen

**硬煤显微组分** (maceral of hard coal) 硬煤(包括烟煤和无烟煤)中在显微镜下可识别的单一有机组成部分。其分类和命名有多种方案。国际煤岩学委员会(International Committee of Coal Petrology, 简称ICCP)的硬煤显微组分分类于1971年颁布, 其显微组分术语在国际标准化组织(International Standard Organization, 简称ISO)制订的国际标准方案(ISO/DIS 7404/01)煤岩分析中被采用。许多国家都制定了有关

烟煤或硬煤的显微组分分类和命名的国家标准, 英、德等欧洲国家的国家标准与国际分类一致, 中国、苏联、美国的分类和命名在遵循国际分类基本原则的同时, 在一些细节上保留了认识上和使用习惯上的差别, 反映了本国煤岩的特色。

**国际硬煤显微组分分类** 将烟煤、无烟煤中所有显微组分按其化学工艺性质分为镜质组、壳质组和惰质组三个显微组分, 每个组都包括一系列成因相近或保存方式相同的显微组分(表1)。各显微组分组的化学成分和性质都有相当明显的区别。

**中国烟煤显微组分分类方案** 中国烟煤显微组分分为镜质组、半镜质组、惰质组和壳质组(表2), 比国际硬煤显微组分分类多分出了半镜质组(semivitrinite)。半镜质组是物理、化学、工艺性质介于镜质组和惰质组之间, 但更近于镜质组的过渡组分(见半镜质组)。在壳质组中则分出了中国晚古生代特别是华南晚二叠世煤中特有的树皮体(见壳质组)。

**苏联国家标准(GOST 9414-74)** 将烟煤显微组分分成六组, 除镜质组、稳定组和惰质组与国际硬煤显微组分分类相同外, 半镜质组(семибитуминит)是镜质组与惰质组的过渡组分; 混合微粒组(микстинит)是无结构镜质体与微粒体或矿物的混合物, 由于颗粒过细( $2\mu\text{m}$ 以下), 难以单独区分, 在进行显微组分定量时, 将其视为一种显微组分; 藻类组因化学组成上有别于其它壳质组组分而单独分为一组。

**美国国家标准(ANSI/ASTM)** 显微组分的划分略简于国际分类。但是, 将镜质组进一步划分出假镜质组(pseudovitrinite)(见半镜质组); 按W. 斯帕克曼(W. Spackman), 在镜质类(vitrinite suit)中, 还可以按照其反射率进一步分成木镜组(xylinoide group)( $R_{0,\text{max}} 0.05\%\sim 0.39\%$ )、镜质组(vitrinoide group)( $R_{0,\text{max}} 0.40\%\sim 2.49\%$ )和高镜组(anthrinoide group)( $R_{0,\text{max}} 2.50\%\sim 10.10\%$ ), 这种划分方案有利于工业应用。

各种显微组分和显微亚组分的划分和命名还在不断充实、完善, 现行国际硬煤显微组分分类与1971年分类相比, 已增加了经荧光分析后发现的荧光体、沥青质体、渗出沥青体以及木栓质体等四种壳质组组分; 在树脂体中, 已细分出特征介于无结构镜质体与树脂体之间的镜质树脂体(colloresinite)这一显微亚组分; 在藻类体中, 又分出结构藻类体和层状藻类体两种显微亚组分。P. 莱昂斯(P. Lyons)等指出, 树脂成因的惰质体不应归入菌类体中, 建议命名为分泌体(Secretinite)。

表 1 国际硬煤显微组分分类

| 显微组分组<br>(maceral group) | 显微组分<br>(maceral)       | 显微亚组分 <sup>*</sup><br>(submaceral)   | 显微组分的种 <sup>*</sup><br>(maceral variety)  |
|--------------------------|-------------------------|--|---|
| 镜质组<br>(vitrinite)       | 结构镜质体<br>(telinite)     | 结构镜质体 1<br>(Telinite 1)  | 科达树结构镜质体<br>(cordatotelinite)<br>真菌结构镜质体<br>(fungotelinite)<br>木质结构镜质体<br>(xylotelinite)            |
|                          |                         | 结构镜质体 2<br>(Telinite 2)  | 鳞木结构镜质体<br>(lepidophytotelinite)<br>封印木结构镜质体<br>(sigillariotelinite)                                |
|                          | 无结构镜质体<br>(collinite)   | 均质镜质体 (telocollinite)<br>胶质镜质体 (gelocollinite)<br>基质镜质体 (desmocollinite)<br>团块镜质体 (corpocollinite) |   |
|                          | 碎屑镜质体 (vitrodetrinite)  |  |   |
| 壳质组<br>(exinite)         | 孢子体 (sporinite)         |  | 薄壁孢子体 (tenuisporinite)<br>厚壁孢子体 (crassisporinite)<br>小孢子体 (microsporinite)<br>大孢子体 (macrosporinite) |
|                          | 角质体 (cutinite)          |  |   |
|                          | 树脂体 (resinite)          | 镜质树脂体 (colloresinite)  |   |
|                          | 藻类体 (alginite)          | 结构藻类体 (telalginite)  | 皮拉藻类体 (Pila-alginite)   |
|                          |                         | 层状藻类体 (lamalginite)  | 轮奇藻类体 (Reinshia-alginite)   |
|                          | 木栓质体 (suberinite)       |  |   |
|                          | 荧光体 (fluorinite)        |  |   |
|                          | 沥青质体 (bituminite)       |  |   |
|                          | 渗出沥青体 (exsudatinite)    |  |   |
|                          | 碎屑壳质体 (liptodetrinite)  |  |   |
| 惰质组<br>(inertinite)      | 半丝质体 (semifusinite)     |  |   |
|                          | 丝质体 (fusinite)          | 火焚丝质体 (pyrofusinite)   |   |
|                          |                         | 氧化丝质体 (degradofusinite)  |   |
|                          | 粗粒体 (macrinite)         |  |   |
|                          | 菌类体 (sclerotinite)      | 真菌菌类体 (fungosclerotinite)  |   |
|                          | 微粒体 (micrinite)         |  |   |
|                          | 碎屑惰质体 (inertodetrinite) |  |   |

\* 术语还不够完善, 随研究深入进一步加以补充。

(据《斯塔赫煤岩学教程》, 1982 年英文版, 并根据国际煤岩学委员会 1987 年会议有关规定进行增补)



表2 中国地质部地质成分分类方案

| 组别   | 代号 | 地质成分    | 代号             | 地质成分                             | 代号   |
|------|----|---------|----------------|----------------------------------|--|
| 硬岩组  | V  | 结构硬岩体   | T              | 结构硬岩体1<br>结构硬岩体2                 | T <sub>1</sub><br>T <sub>2</sub>                                     |
|      |    | 无结构硬岩体  | C              | 均质硬岩体<br>基岩硬岩体<br>粗粒硬岩体<br>粗粒硬岩体 | C <sub>1</sub><br>C <sub>2</sub><br>C <sub>3</sub><br>C <sub>4</sub> |
|      |    | 碎屑硬岩体   | VD             |                                  |  |
| 半硬岩组 | SV | 结构半硬岩体  | ST             |                                  |  |
|      |    | 无结构半硬岩体 | SC             | 均质半硬岩体<br>基岩半硬岩体<br>粗粒半硬岩体       | SC <sub>1</sub><br>SC <sub>2</sub><br>SC <sub>3</sub>                |
|      |    | 碎屑半硬岩体  | SVD            |                                  |  |
| 软岩组  | I  | 半硬岩体    | SP             |                                  |  |
|      |    | 硬岩体     | F              |                                  |  |
|      |    | 硬岩体     | M <sub>1</sub> |                                  |  |
|      |    | 硬岩体     | M <sub>2</sub> |                                  |  |
|      |    | 硬岩体     | SD             |                                  |  |
|      |    | 硬岩体     | ID             |                                  |  |
| 变质岩组 | IV | 粗粒体     | Sp             | 大粗粒体<br>小粗粒体                     | Sp <sub>1</sub><br>Sp <sub>2</sub>                                   |
|      |    | 角闪岩     | Ca             |                                  |  |
|      |    | 辉岩体     | Re             |                                  |  |
|      |    | 未蚀岩体    | Sub            |                                  |  |
|      |    | 辉岩体     | Bu             |                                  |  |
|      |    | 辉岩体     | Bu             |                                  |  |
|      |    | 辉岩体     | Ex             |                                  |  |
|      |    | 辉岩体     | Ex             |                                  |  |
|      |    | 辉岩体     | Alu            | 结构硬岩体<br>结构硬岩体                   | Alu <sub>1</sub><br>Alu <sub>2</sub>                                 |
|      |    | 辉岩体     | Alu            |                                  |  |

(任德胎)

yingzhihejin zuanjin

**硬质合金钻进 (tungsten-carbide drilling)**

用镶焊在钻头体上的硬质合金作切削具,破碎岩石,形成钻孔的钻进方法。它适用于钻进中硬和中硬以下的各种岩层。目前,在中国煤田地质钻探中,以硬质合金钻进工程量最多、技术最成熟。尤其在4级以下的软岩和塑性岩层中,其适用性最强。

**碎岩机理** 硬质合金钻进属回转钻进方法之一,钻头在轴向压力和回转力矩的共同作用下破碎岩石,形成钻孔。其碎岩过程是:钻头切削具在轴向压力作用下,切入岩石一定深度,在回转力矩作用下,使脆性岩石从岩体上崩离,造成体积破碎;对塑性岩石,则被切削具削去一层。每个切削具破碎岩石时,都切出一条螺旋槽。用冲洗液将岩屑冲离孔底,携带到地面。冲洗液还起着冷却切削具,润滑钻具,维护孔壁稳定等作用。钻进时所施加的轴向压力、钻头回转速度以及冲洗液量的大小,必须依据所钻岩层的性质、设备能力和施工方法等合理选择,并根据钻进情况的变化(岩石性质的改变、切削具磨损情况等)予以适当的调整,才能取得预期的钻进效果(见钻进参数)。

**特点** 硬质合金钻进在其适应的碎岩范围内,具有钻效高、钻孔质量好,操作简便,事故少,钻孔直径、深度、钻进方向不受限制等特点。用硬质合金制作地质钻头(见硬质合金钻头),工艺简单,便于修磨,钻头结构易于改变,成本低。但在钻进软硬不均、裂隙发育、研磨性强的岩石时,硬质合金切削具容易磨损或崩刃碎裂,钻进效果不佳。

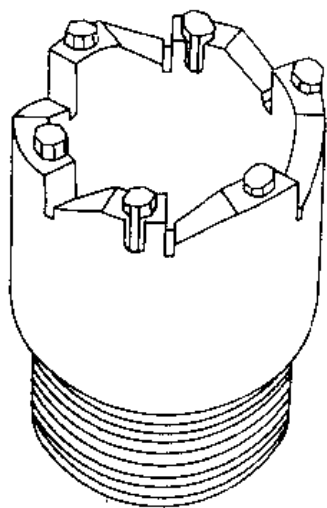
**钻探用硬质合金** 硬质合金是以碳化钨为主要成分的一种粉末冶金制品。碳化钨(WC)具有高硬度、耐高温、抗研磨和抗氧化性能。单纯的碳化钨脆性较大,加入适量钴的制品可大大提高制品的韧性。随着含钴量的增加,其抗弯、抗冲击性能相应提高,但其硬度和耐磨性则相对下降。硬质合金产品规格、品种繁多,用途亦非常广泛。钻探用的硬质合金,常用牌号有:YG4C、YG6、YG6X、YG8、YG11、YG15等。其中,Y代表硬质合金;G代表含钴;阿拉伯数字代表钴含量所占百分数;X代表细颗粒;C代表粗颗粒。硬质合金切削具的形状有片状、方柱状、八角柱状、针状、排状、球头圆柱状等。

**发展概况** 硬质合金作为切削具最早用于金属切削加工,后来被用到钻探领域作钻头切削具。由于金刚石应用于钻探的范围越来越广,作为破岩切削具的金刚石制品品种、规格发展很快,其优越性也日益明显。目前,硬质合金钻进在国外已很少应用,但在中国,由于地质条件及设备性能、工艺方法等方面的原因,硬质合金钻进仍在广泛应用。具有中国特色的自锐式针状合金钻头和排状合金钻头的研制成功,使硬质合金钻进的适用范围已扩大到部分7~8级非研磨性岩层,但从长远来看,它有可能被金刚石钻头和复合片钻头取代。

(李岳)

yingzhi hejin zuantou

**硬质合金钻头** (tungsten-carbide bit) 简称合金钻头, 镶嵌有硬质合金切削具的钻探钻头(下图)。它主要适用于钻进可钻性在 6 级以下的中、弱研磨性岩层; 钻进 7 级以上岩层时, 合金磨损很快。



硬质合金取心钻头示意图

合金钻头按用途分为取心和不取心两大类; 按破碎岩石的机理分为磨锐式和自锐式两种。切削具的形状、数量和在钻头体上的排列方式主要取决于所钻岩石的性质。合金切削具的形状分为片状、方柱状、八角柱状、针状、排状等。取心钻头合金的排列方式分为一字形、品字形、阶梯形、单双粒形、三八形、燕尾形等。不取心钻头合金的排列方式分为翼片形、锥形、阶梯锥形、阶梯螺旋形等。

**磨锐式钻头** 用八角柱状或方柱状合金作切削具的钻头。在钻进过程中, 合金与孔底岩石的接触面积因刃角逐渐磨钝而不断增大, 钻进一段时间后, 需将钻头提至地面, 修磨合金刃角后再使用。它适用于可钻性在 6 级以下的弱研磨性岩层。此种钻头按切削具中心线与钻头底端面的角度分为: 直镶、正斜镶和负斜镶三种。直镶式钻头的切削具中心线与钻头底端面垂直, 适用于钻进较软的弱研磨性岩层; 正斜镶钻头切削具中心线朝钻头旋转方向倾斜, 适用于钻进软的弱研磨性或无研磨性岩层; 负斜镶钻头切削具中心线逆钻头旋转方向倾斜, 适用于钻进可钻性在 6 级以下的软和软硬互层的较强研磨性岩层。

**自锐式钻头** 用针状或排状合金作切削具的钻头。在钻进过程中, 切削具与岩石接触面积保持不变。

为提高切削具的抗弯能力, 通常要用易磨金属作支撑。此种钻头具有钻速稳定, 回次进尺长的特点。其中, 针状合金钻头适用于钻进可钻性在 5~7 级的中研磨性岩层; 排状合金钻头的切削具相当于并在一起的针状合金, 具有锋利的初始切削刃, 镶焊工艺简单, 适用范围广, 机械钻速高, 不易崩落, 钻头寿命长, 适用于钻进可钻性在 4~7 级的中研磨性岩层。

(李 岳)

youyeyan

**油页岩** (oil shale) 灰分高于 40% 的腐泥型固体可燃矿产。它和腐泥煤均以由低等植物形成的腐泥质为主, 灰分含量大于 40% 为油页岩, 灰分含量小于 40% 则为腐泥煤。油页岩煤级较低, 由有机质和矿物质组成, 有机质中氢含量较高, 低温干馏可得碳氢比类似天然石油的页岩油。矿石产油率一般为 4%~20%, 最高可达 30%。产油率大于 7% 的有工业价值。

**概述** 油页岩呈灰、浅褐、黄褐至深褐、黑色等色调; 通常具页理, 受打击时, 能顺层分裂成薄片; 用火柴燃点时冒烟, 具油味; 用指甲刻划有油痕。其原始有机物质主要来源于水藻等低等浮游生物, 其中以蓝藻、绿藻、黄藻最为重要。某些微小动物、高等水生植物及高等陆生植物的孢子、花粉、角质等植物组织碎片, 也参与油页岩的组成。除有机物外, 油页岩中还含有各种各样的矿物, 其中最常见的是石英、粘土矿物、碳酸盐矿物、硫酸盐矿物、硫化物及亚铁化合物和岩盐等。此外, 还常含有铜、镍、钴、钼、钛、钒等元素的化合物以及锆、钽、铀等稀有金属及放射性元素。

油页岩灰分含量高, 其矿物质一般占 1/3 以上。其有机质中氢含量较高, 碳氢比最大不超过 10, 且有机质均匀地分布于矿物基质中。其有机质中所含用中性有机溶剂能够抽提出来的沥青不超过 1%~2%; 低温干馏时能产出主要由液体烃类所组成的页岩油。其中也含有少部分氮、硫、氧等非烃类有机化合物。

**成矿条件** 油页岩形成于稳定下降的构造条件, 介质呈中性、弱碱性、弱至强还原性的淡水、半咸水或咸水中。其沉积古地理环境可以是湖泊, 也可以是海湾或潟湖(见腐泥化作用)。

**成矿时代** 世界上油页岩在寒武纪至第三纪均有分布。其中, 以早志留世、石炭纪、二叠纪、三叠纪以及早第三纪为主。中国油页岩主要赋存于石炭纪、二叠纪、三叠纪和侏罗纪、白垩纪、第三纪地层中。其中, 第三纪是中国最主要的成矿时代。

**工业用途** 利用油页岩中有机质制取页岩油和煤气, 是一种潜在的能源。回收其干馏气体中的氮、硫化

氢、吡啶和酚等,可作为化工原料。利用颗粒和粉末油页岩可燃烧产气发电。下馏后的页岩灰渣还可用于矿井充填或用来制造水泥熟料、陶瓷纤维和陶粒等建筑用材。

**资源分布** 世界油页岩资源很丰富。美国西部始新世绿河组赋存有全世界最大的油页岩矿床。

中国各主要中、新生代含煤岩系和中、新生代含油气盆地的含油岩系中,均有油页岩产出,其中,以东北、华北、华南和西北等地区油页岩资源最丰富。不过,除个别地区外,油页岩的含油率都不高。

**资源量** 中国油页岩资源量估计约430Gt,折合页岩油近25Gt,仅次于美国、巴西、前苏联而居世界第四位。著名的抚顺、茂名、桦甸三个已开采或曾开采的矿区,其探明储量共约10Gt。此外,吉林农安,内蒙古东胜,甘肃炭山岭、窑街,新疆博格达山北麓,陕西鄂尔多斯以及广东儋县等地,都是较有前景的油页岩产区。

中国含煤岩系中产油页岩的矿区主要有,①抚顺矿区(第三纪),总储量为3.6Gt。②甘肃炭山岭和窑街矿区(侏罗纪)。③山东黄县矿区(老第三纪)。④海南儋县矿区(第三纪)等。

(张鹏飞 刘钦甫)

## Yuekejun—Nuodinghanjun Meitian

**约克郡—诺丁汉郡煤田** (Yorkshire—Nottinghamshire Coalfield) 英国石炭纪煤田,位于英国英格兰中部奔宁山脉东侧,面积7500km<sup>2</sup>,是英国中部最大的煤田,从北向南有几个含煤区,过去曾分别称为约克郡煤田、诺丁汉郡煤田和德比郡煤田。它是英国最主要的煤炭储集区和产区之一。

**地质** 煤田西部为露头区,面积300km<sup>2</sup>,煤田东界隐蔽,不能精确确定。含煤岩系厚度和煤层数量向东逐渐减小。煤田地质构造为一个宽阔的复向斜,还有几个横向背斜。晚石炭世含煤岩系分布在几个宽阔的、不规则的向斜内,有轻度挠曲。这些向斜经常被北东向和北西向的大断层所破坏,形成多个断块。有些石炭纪断层在二叠纪和三叠纪重新活动。

下伏地层为下石炭统灰岩,厚度895m。

含煤岩系为上石炭统,与下石炭统呈不整合接触。其底部为含不稳定薄煤层的粘土岩和砂岩,厚度1500m,中部为安曼(Amman)亚阶,是夹有众多煤层的灰色地层,厚度1290m。顶部为摩根(Morgan)亚

阶,是含薄煤层的灰色地层,厚度390m。

上覆地层为二叠系和三叠系镁灰岩和砂岩,与石炭系不整合接触。煤田南部有火成岩分布。煤系沉积多属三角洲相,下三角洲岩层连续,煤层较薄,砂岩较少;上三角洲煤层厚,易分岔,砂岩多。

**含煤性** 约克郡—诺丁汉郡煤田含煤岩系的地质时代属晚石炭世。绝大多数可采煤层发育在其中部的安曼亚阶中,煤层平均厚0.6~2.4m,约克郡南部含煤率最高,其可采煤层总厚度为12~20m。在煤田其它部位,煤层厚度要小得多。一些厚煤层结构复杂,往往分岔成较薄以至不能开采的煤层,甚至尖灭。

**煤质** 约克郡—诺丁汉郡煤田的煤属优质低灰煤,灰分仅为1%~2%,很少到10%。沿剖面往上和自西向东,煤的水分由1%增至14%,挥发分由30%增至40%;发热量30.10~34.70MJ/kg。煤的磷含量低,一般少于0.01%,氯含量高达1.2%。大部分煤为炼焦煤,质量最佳的分布在煤系的下部和中部。

**资源** 约克郡—诺丁汉郡煤田煤炭资源量56Gt,占全英煤炭资源量的1/3,其中1200m以浅13.3Gt。英国各煤田的勘探程度很高,全国A+B+C级储量占煤炭资源量的30%。

**开采地质条件** 约克郡—诺丁汉郡煤田新井分布区的上覆地层较厚,勘探深度达600~1200m,开采深度一般400~750m。构造简单,岩层倾角小于10°。小断层较多,有的煤层受古河床冲刷,影响采掘效率,减少产量。主要含水层是上覆二叠系镁灰岩和三叠系砂岩,它们主要影响井筒开凿,只在个别地段妨碍开采。

**开发概况** 20世纪60年代以来,约克郡—诺丁汉郡煤田即成为英国的主要勘探区。1974~1985年,英国煤炭工业投资的68.2%投放在该煤田。该煤田年产量在30Mt以上,全部为硬煤,占全英硬煤产量的1/3左右。其中动力煤占80%。采煤综合机械化程度很高,达90%以上。

位于约克郡东北部的塞尔比矿,是英国新建成的大型现代化煤矿,煤炭的赋存面积285km<sup>2</sup>。煤炭资源量2Gt,其中顶部拜尔斯雷煤层储量约0.6Gt,为气煤。该矿区含煤岩系厚500m,含10层煤,其中有5层可采,厚度为0.7~3.4m。

约克郡—诺丁汉郡煤田的南部也是今后的重点开发区。

(李濂清)

## Z

**地层特征** 下石炭统在中国南方分岩关阶(下部)及大塘阶(上部)。大塘阶据贵州省平塘县大塘剖面命名,阶内较普遍发育有含煤组(表1)。

[illegible]

测水组 据湖南省双峰县城北测水河畔剖面命名。该组连续沉积于石磴子组之上,由海陆交替相石英砂岩、粉砂岩、泥岩等组成,夹煤、菱铁矿、鲕状粘土岩及泥灰岩薄层等,煤层附近产出铲羊齿—古芦木—

须羊齿植物化石组合,全组厚 80~200m。该组以中部的一层厚数米至 20m 的含砾石英砂岩的底面为界,分上、下两个含煤组,主要可采煤层多集中于下含煤组,上含煤组仅含不可采薄煤;含砾石英砂岩底面为一冲刷面,放下含煤组顶部常现缺层现象。上含煤组上部岩层常呈红色,硅质成分增多,并逐渐过渡为梓门桥组。由新化向西、北,测水组厚度急剧减薄,碎屑岩的粒级亦加粗。由邵阳—涟源一带向南,测水组中碎屑岩比例逐渐减小,并相变为石灰岩,到湘西南东安、零陵、宁远、道县等地,测水组岩层已难以辨认,经常可见石磴子组与梓门桥组直接整合接触,但仍然在两个石灰岩组中夹有碎屑岩及不稳定煤层。

寺门组及芙蓉山组 地层的基本特征与湘中测水组相仿,中部含砾石英砂岩亦普遍发育,下部含煤组亦含可采煤层,以贵州荔波—广西南丹一带含煤性最好。由桂北向南、粤北向西,组内碎屑岩亦逐渐相变为石灰岩,含煤组亦最终消失于石磴子组和梓门桥组石灰岩之中。

赣浙闽区 在赣中、浙西、粤东北、闽西等地,大塘阶以陆相碎屑岩含煤岩系为主,偶夹薄层石灰岩及滨岸碎屑岩,红色岩层常可见到,且其比例越往东侧越大,到浙江建德以东全部变为红层。全阶厚数十米至

300m。梓山组及部分叶家塘组含可采煤层,而忠信组与林地组仅含煤线。阶内产出铲羊齿—古芦木—须羊齿植物化石组合,并产出 *Neuropteris gigantea* 植物化石。

苏浙皖区 在苏、浙、皖三省接壤区域,大塘阶称高骊山组,系海陆交替相碎屑岩组,假整合于泥盆系之上,有时整合于含 *Pseudouralinia* 珊瑚化石的金陵组石灰岩层之上,厚数十米至百余米,局部含薄煤层,产出铲羊齿—古芦木—须羊齿植物组合。

在西藏昌都地区,青海,河南商城,陕西山阳及甘肃武威、靖远等地,大塘阶均属海陆交替相碎屑岩含煤沉积,除局部地点因断层切割厚度较小外,一般全阶厚度均大于 1000m,阶内产出铲羊齿—古芦木—须羊齿植物化石组合。

古生物特征 大塘阶化石丰富,有珊瑚、笔、腕足、头足、牙形、植物等门类化石。珊瑚化石是划分该地层并与国内外对比的主要化石依据。在中国南方, *Thysanophyllum* 珊瑚化石带代表旧司组; *Yuanophyllum-Kueichouphyllum* 珊瑚化石组合代表上司组; *Ehippicania-Kapuphyllum* 组合代表摆佐组。在中国南方,大塘阶内含煤组的划分对比,主要依靠植物、珊瑚及笔类化石(表 2)。

表 2 大塘阶主要古生物组合(带)表

| 地质时代   | 珊瑚                                     | 笔  | 植物  |
|--------|--|--|---|
| 晚石炭世早期 | <i>Ehippicania-Kapuphyllum</i> 组合      | <i>Rhouffella</i> 组合   | <i>Sphenophyllum tenerrimum-Menevalamites Rhodopteris acuta f. chinensis</i> 组合 |
| 晚石炭世中期 | <i>Yuanophyllum-Kueichouphyllum</i> 组合 | <i>Cardiophyllum spetsbergense-Archaeocalamites scrobiculatus-Rhodopteridium</i> spp. 组合 | 古 <i>Neuropteris</i>  |
|        | <i>Thysanophyllum</i> 带                |  | 古 <i>Sublepidodendron</i>   |

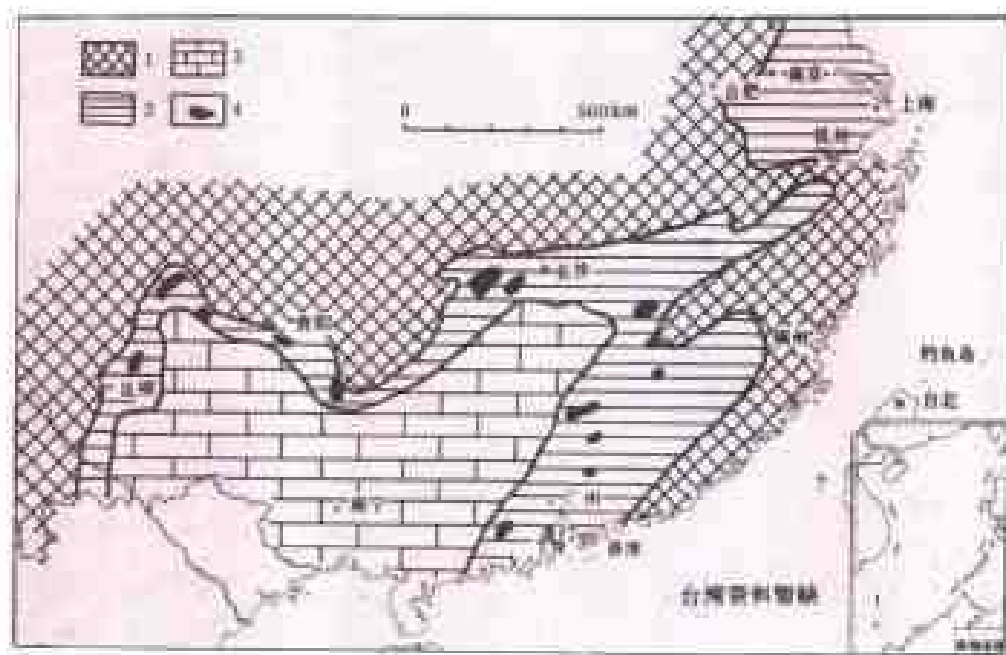
铲羊齿—古芦木—须羊齿植物化石组合 即 *Cardiophyllum spetsbergense-Archaeocalamites scrobiculatus-Rhodopteridium* spp. 组合,代表中国早石炭世晚期的一个植物群落,以蕨类植物的石松、楔叶、真蕨纲为主,而裸子植物的苛达纲亦开始出现。常见分子还有: *Rhodopteridium hsianghsiangensis*, *R. tenuis*, *Triphylopteris collombiana*, *Sphenopteris changduensis*, *Sphenophyllum tenerrimum*。在此组合下部,常有 *Sublepidodendron mirabile*, *S. changduense*, *Lepidodendron volkmannianum* 等较古老分子,而在组合上部

可常见到 *Neuropteris gigantea* 等较新分子。其时代大致可与欧洲维宪期 (Visian) 相当。

形成条件 主要包括古地理、古气候(略)两方面。

古地理 中国南方在早石炭世为一海盆,向南开口,向北封闭(下页图)。在昆明—贵阳—长沙—南昌—广州这一不规则弧形地带,当时处于滨海地带(其外缘为滨海平原),其上有重要的泥炭沼泽形成与分布。在浅海区的近岸部分,也曾有短暂时间的泥炭沼泽形成。苏浙皖接壤地区,为另一向北东倾斜的海盆边缘,向太平洋开口。





中国南方早石炭世晚期古地理图

1—古陆；2—滨岸—滨海平原；3—浅海；4—主要泥炭沼泽分布地

河南信阳—安徽霍丘一带（包括商城在内），大致属山间盆地。陕、甘、青、藏等地的大塘阶，大致都属于海体的边缘部位。

**含煤情况** 中国南方各地大塘阶一般含煤 1~22 层，有 1~3 个可采煤层，而忠信组、林地组、高骊山组及浙江中部的叶家塘组，都不含可采煤层。可采煤层厚度大部在 0.5~2m 之间，较厚的地区有二：①湖南涟源—新化，含可采煤层 1~4 层，总厚 1~9m。②广西南丹—贵州荔波，含可采煤层 1~4 层，总厚 0.5~4.6m。

河南商城白山组含煤多达 62 层，其中 12 层可采，厚 7~34m，但多为透镜状，极不稳定。陕西山阳—峪河组含可采煤层 5 层，总厚 7.4m，亦不稳定。甘、青、藏等地一般不含可采煤层。

在涟源—新化一带，煤的灰分低，是制造合成氨的优质无烟煤原料。中国南方早石炭世煤种绝大部分为无烟煤，仅在湘南部分地段有贫煤或瘦煤。

（田宝霖 王煦曾）

Zaozhongzhuluoshi hanmeidiceng

**早中侏罗世含煤地层** (Early and Middle

Jurassic coal-bearing stratum)

中国最主要含煤地层，分布遍及全国，蕴藏了全国 60% 的煤炭资源量，在鄂尔多斯地区及新疆天山山脉两侧构成了两

个世界最大型的煤田（见鄂尔多斯煤田、乌鲁木齐煤田）。该含煤地层基本由陆相碎屑岩组成，常以巨厚的块状砂砾岩层为主体，在华北聚煤区和西北聚煤区盛产厚煤层；所含植物化石均隶属于 *Coniopteris*（锥叶蕨）—*Phoenicopsis*（拟刺葵）植物群。这套地层的具体划分对比目前尚存分歧，但总的时代归于早侏罗世到中侏罗世早期则比较一致，其年代距今约自 2 亿年到 1.5 亿年。

**地层特征** 中国南、北方各具特色。

**北方区** 昆仑山—秦岭一线以北早中侏罗世含煤地层，包括下侏罗统下部、上部及中侏罗统下部等三部分（表 1）。岩石以砾岩、砂岩为主，还有粉砂岩、泥岩、粘土岩、煤层及油页岩等，部分地段含菱铁矿及泥灰岩薄层，东部地区火山岩比较发育。该含煤地层一般厚 200~800m；甘、青、新等西部地区厚逾 1000m。该含煤地层中产出锥叶蕨—拟刺葵植物群化石，在下侏罗统下部层位中，还产出 *Clathropteris*, *Dictyophyllum*, *Thaumatopteris* 等常见于上三叠统中的蕨类分子；而在甘、青、新等西部地区，*Coniopteris* 及 *Phoenicopsis* 却极少在下侏罗统出现。此外，部分地区还产出以 *Ferganoconcha* 为主的双壳类和少量叶肢介、昆虫等化石。

在宁、陕、晋、豫、鲁等地，下侏罗统下部地层大片缺失；而在冀、辽、吉、呼盟等地，则沉积了兴隆沟

表1 中国北方早中侏罗世含煤地层对比表

| 地<br>层 | 塔里木北缘<br>新疆 | 准噶尔、天山<br>新疆 | 青海东北部 | 柴达木北缘<br>青海 | 青海东部 | 甘肃中部 | 宁夏贺兰山 | 鄂尔多斯 | 内蒙古<br>大青山 | 内蒙古<br>锡盟 | 山西<br>大同、宁武 | 河南义马 | 山东潍坊 | 河北北部 | 北京  | 辽宁西部 | 吉林内<br>蒙古界 | 内蒙古<br>呼盟 |
|--------|-------------|--------------|-------|-------------|------|------|-------|------|------------|-----------|-------------|------|------|------|-----|------|------------|-----------|
| 中侏罗统   | 克孜勒努尔组      | 西山窑组         | 木里组   | 大煤沟组        | 窑街组  | 汝箕沟组 | 延安组   | 石沟组  | 阿拉坦合方群     | 大同组       | 义马组         | 坊子组  | 龙门组  | 寿阳沟组 | 万宝组 | 太平川组 |            |           |
| 下侏罗统   | 阳霞组         | 三工河组         | 日月山组  | 小煤沟组        | 大西沟组 | 富县组  | 五当沟组  | 永定庄组 | 窑坡组        | 北票组       | 红旗组         | 查依河组 |      |      |     |      |            |           |
|        | 阿合组         | 八道湾组         |       |             |      |      |       |      |            |           |             |      |      |      |     |      |            |           |

△主要含煤组；○次要含煤组。

组、南大岭组、查伊河组等以火山岩为主的岩层，仅在青、新地区，形成了八道湾组、日月山组、小煤沟组等含煤沉积。

下侏罗统上部地层，总体上在偏北、偏东地区形成了红旗、北票、窑坡、五当沟等组含煤沉积；而在晋、陕及甘、青东部，则一般不含可采煤层，还常有永定庄组、富县组、大西沟组等红色、杂色岩层分布其间；青、新地区、河床相发育，仅阳霞组、三工河组等含少量煤层。

南方区 昆仑山—秦岭一线以南早中侏罗世含煤地层，亦可分为三部分（表2）。岩层一般以细砂岩、粉砂岩及泥岩为主，水平层理及波状层理发育，夹煤层、菱铁矿、粘土岩及泥灰岩薄层；在东部苏、浙、皖、闽等地，以火山碎屑岩为主；在粤北、粤东，普遍夹含海相化石的黑色泥岩。该含煤地层总厚度在西部川、陕地区为100~300m；东部浙、闽、苏、赣东等地通常在1000m以上；中部湘、桂、鄂、赣等地一般在1000m左右。该含煤地层产出的植物化石均属锥叶蕨—拟刺葵植物群，其中，以 *Coniopteris*, *Psilophyllum*, *Neo-*

*calamites*, *Phoenicopsis*, *Otozamites*, *Ginkgoites*, *Marattiopsis* 等最为常见；下侏罗统还产出 *Clathropteris*, *Dictyophyllum* 等上三叠统重要分子；双壳、介形类动物也有所发现；粤北金鸡组还有 *Hongkongites*, *Arietites* 等菊石产出。

南方区的下中侏罗统中普遍有含煤迹象，但基本上为薄煤层及高灰分劣质煤，仅局部地段的白田坝组和大岭组中赋存可采煤层。

形成条件 包括古地理、古气候、古植物。

古地理 昆仑山—秦岭一线，早中侏罗世时为高耸的山脉，成为分割中国南、北两区的界山（下页图）。北方区在早侏罗世有一系列内陆盆地形成，盆地内沉积了含煤地层；南区地势受东、西两侧海区控制，中部广大地区为分别向东、西方倾斜的滨海平原，分水岭大致在湘黔交界南北一线。

北方区的内陆盆地，以陕、甘、宁的鄂尔多斯及新疆境内的为大，其余均属小于1000km<sup>2</sup>的小盆地。从部分保存较完整的盆地分析，盆地内明显存在着边缘的山麓带、中间的河流沼泽带和盆心的湖泊区。其中，

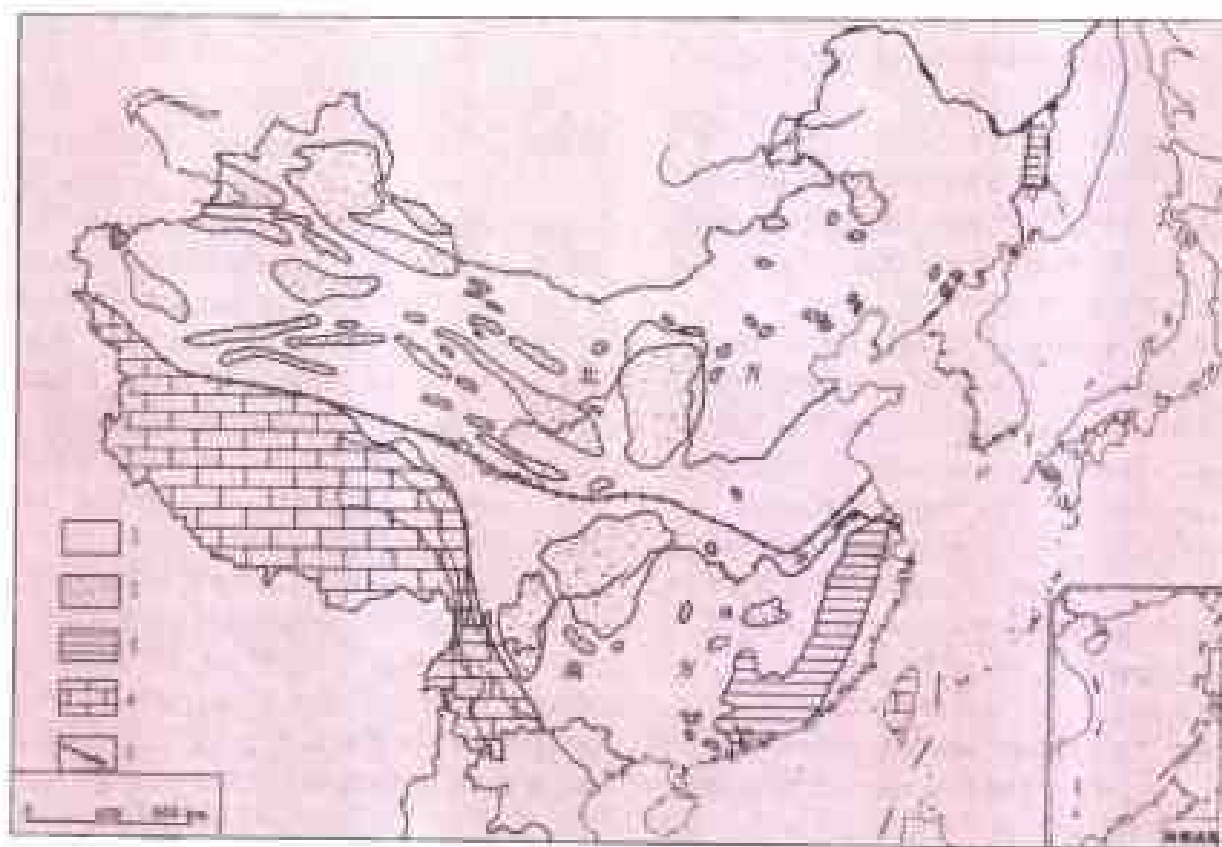




表2 中国南方早中侏罗世含煤地层对比表

| 地 区     | 川 南 | 川 南<br>北碚 | 黔 南<br>桐梓 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 | 湘 南 |
|---------|-----|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 中 侏 罗 统 | 自流井 | 干溪沟       | 干溪沟       | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 |
| 下 侏 罗 统 | 自流井 | 干溪沟       | 干溪沟       | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 |
|         | 自流井 | 干溪沟       | 干溪沟       | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 | 干溪沟 |

\* 含河系海陆成岩所储注。



中国早中侏罗世古地理暨地层分区图

1—隆起、剥蚀区；2—内陆盆地；3—滨岸地区；4—浅海；5—地层分区界线



靠近山麓带的河流沼泽带,往往是泥炭积聚的主要地段;而湖泊区则有油页岩生成。在甘、青、新分布的盆地,其边缘一般有北西向或近于东西向的同沉积断裂,使盆地具断陷性质。因受后期构造变动的破坏和剥蚀,大多数盆地的边界和原始古地理面貌已难恢复。鄂尔多斯盆地现存的东界,基本上只是当时盆心稍东的部位。

南方区为广袤的滨海平原,有相当稳定的河、湖、三角洲沉积,但并未形成大片持续的泥炭沼泽,且因后期构造破坏,残存的中、下侏罗统极其零散,难以深入研究。

**古气候** 早中侏罗世的古气候条件是控制当时含煤地层分布及其含煤性的主要因素。在北方区,新疆及青海西部,早中侏罗世基本上始终保持湿热环境,成煤作用起始早而延续时间久;在其以东的大部地区,则基本长期为干旱气候所笼罩,仅一度有一股潮湿气候带从北向南运移,在其影响下才使含煤沉积有所形成。这股潮湿气候带的影响时间,在阴山山脉以北大致为早侏罗世,以南为中侏罗世。在南方区,早中侏罗世基本为炎热而又比较干燥的气候环境,聚煤作用很弱,甚至在滇、黔、川南一带,早中侏罗世全部形成红层。仅在四川旺苍—达县一线以北、鄂西、鄂南及桂东北等少数地区,早中侏罗世晚期有较短暂的湿热环境,形成一些煤炭资源。

**古植物** 早中侏罗世裸子植物相当繁盛,蕨类植物在植物群中仍占重要位置(参见彩图插页第26页,第28页)。当时以苏铁、银杏及松柏纲为主的造煤植物,称为锥叶蕨—拟刺葵植物群。其化石普遍存在于中国南方和北方早中侏罗世含煤地层中,以 *Coniopteris* (锥叶蕨) 和 *Phoenicopsis* (拟刺葵) 为代表,常见分子有楔叶纲的 *Neocalamites*, *Equisetites*; 真蕨和种子蕨纲的 *Raphaelia*, *Thinnfeldia*, *Sphenopteris*; 苏铁纲的 *Nilssonia*, *Otozamites*, *Pterophyllum*, *Ptilophyllum*, *Nilssoniopteris*; 银杏纲的 *Baiera*, *Ginkgoites*, *Sphenobaiera*, *Czekanowskia*; 松柏纲的 *Pityophyllum*, *Podoxamites*, *Elatocladus* 等。此群落大部分属乔木,生长于炎热潮湿气候环境,表明中国当时处于亚热带。该植物群的地质时代为早侏罗世至中侏罗世。

**含煤情况** 中国全国各地有不同特点。

**新疆** 早中侏罗世含煤地层集中分布于天山南北两麓,由东而西横贯新疆全省,包括吐鲁番—哈密、乌鲁木齐、准噶尔南缘,塔里木北缘、伊宁等煤田,可采煤层在5层以上,多时达20~50层。可采煤层总厚一般为数十米;在准噶尔南缘的阜康附近,煤层总厚为160m,属富煤带。这是中国煤炭资源最为丰富的一个

区域,且煤质优良,煤种以不粘结的低变质烟煤为主,托克逊县艾维尔沟矿区等局部地段,有气、肥、焦、瘦煤种。在新疆北部的准噶尔北缘、东缘煤田,含煤面积很大,含可采煤层多至10余层,可采煤层总厚度数十米,煤种为低变质烟煤。新疆南部的塔里木南缘,也有西昆、阿尔金等不少煤田分布,各含煤数层,可采煤层总厚度米至10余米,煤种亦以低变质烟煤为主。

**甘、青、宁** 除鄂尔多斯(见鄂尔多斯煤田)外,还有:靖远、窑街、大通、木里、热水、大煤沟、汝箕沟等小型煤田,可采煤以1~3层居多,可采煤层总厚10~30m,含煤密度高。

**晋、冀、鲁、豫** 有大宁、蔚县、京西、坊子、义马等煤田,面积均小,含可采煤层3~7层,可采煤层总厚5~20m,煤种以低变质烟煤为主,仅京西煤田为无烟煤及少量高变质烟煤。

**内蒙古、辽、吉、黑** 包括石拐、锡林浩特、万红、北票等煤田,面积小,含可采煤层2~10层,可采煤层总厚5~30m,煤种为烟煤。

**南方** 于四川达县、湖北秭归、湖南洞口、广西钟山等处有1~3层可采煤层,可采煤层总厚小于7m,煤种为无烟煤及烟煤。

(梅美棠 王煦曾)

zhangbi haian chenjitixi

**障壁海岸沉积体系** (barrier coastal depositional systems) 障壁岛和波浪占优势的碎屑海岸环境内形成的一套有成因联系沉积相的组合。碎屑沉积物由河流带入海盆中,经波浪与沿岸流的搬运,至开阔海岸或有岬角的海岸,因波浪能的消耗而沉积,形成与海岸大致平行的走向砂体。当砂体向陆一侧有潟湖水体存在时,砂体与海岸陆地不直接联结,称为障壁岛。障壁岛与陆地之间的半咸水湖称潟湖。障壁岛、潟湖与入潮口潮道沉积共同构成了障壁沉积体系(图1);当无潟湖水体存在时,走向砂体沿海岸边缘直接沉积即形成进积的碎屑海岸沉积体系。

海盆中波浪和潮流均与海岸潮差大小有直接关系(Hayes 和 Kana, 1967)。波浪强度与潮差为反相关,潮差增大,海岸带变宽,使波浪能分散消耗。海岸地形分布与潮差类型有关,①小潮差(潮差为0~2m)海岸。往往是波浪占优势的海岸,障壁岛最发育。其特征是,障壁岛砂体窄长且连续性好,入潮口少,潟湖水体较封闭,面积较大,水也较深。②中潮差(潮差为2~4m)海岸。障壁岛短小,呈鼓棒状,砂体较宽但厚度薄,入潮口发育,潟湖浅,水域不连续,被大面积潟湖潮滩或沼泽所隔开(图2)。③大潮差(潮差>4m)海岸。为

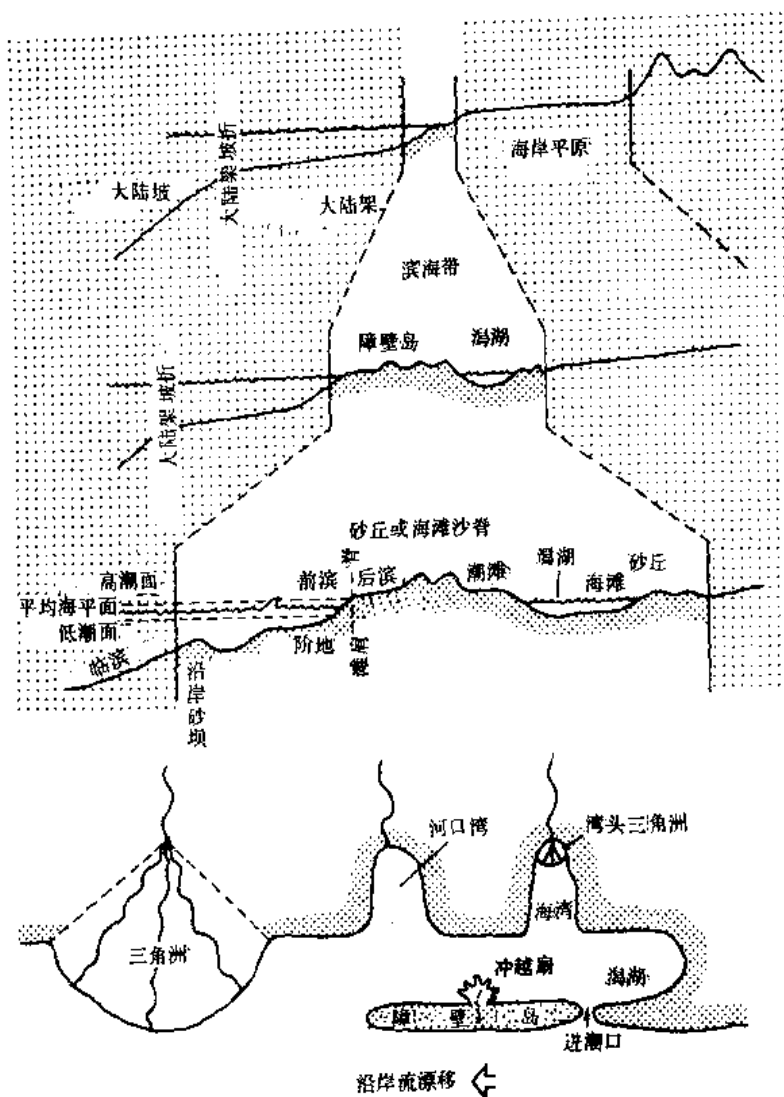


图1 滨海地带沉积环境示意图

(据 Curray, 1969)

潮汐占优势的潮汐海滩，障壁岛不发育。

**波浪占优势海岸的沉积特征** 无论有无障壁岛，进积的、波浪占优势的碎屑海岸最常见的沉积是临滨、前滨、后滨直到海岸砂丘沉积。根据沉积物的结构、沉积构造和生物组合，可分出临滨-海岸砂丘、障壁岛-潟湖、海岸平原等不同环境的沉积相（图3）。

**临滨-海岸沉积** 由临滨相、前滨相、后滨相、海岸砂丘相构成。

**临滨相** 包括正常浪基面至低潮面之间以砂质为主的沉积，经过波浪和沿岸流的再筛选，以干净的石英砂为主，颗粒分选、磨圆好，具有向上变粗的垂向层序，生物化石和生物搅动构造丰富，有时受到风

暴的侵袭。

**前滨相** 海滩下部高潮面与低潮面之间、波浪冲流带环境的沉积，其宽度取决于潮差大小和海岸坡度，为砂质沉积或含砾石，具低角度向海倾斜的冲洗交错层理，并有大量对称或不对称的波痕。

**后滨相** 海滩上部高潮线以上（由滩肩与前滨分开）的砂质沉积，特大风浪时由波浪作用形成，具水平层理，也可有波痕交错层理和低角度板状交错层理，略向陆的方向倾斜，有甲壳类生物的掘穴作用或有藻席。

**海岸砂丘相** 海滩上部，高潮线以上后滨向陆一侧由风改造的砂丘，堆积在树木和灌木之间，为分选

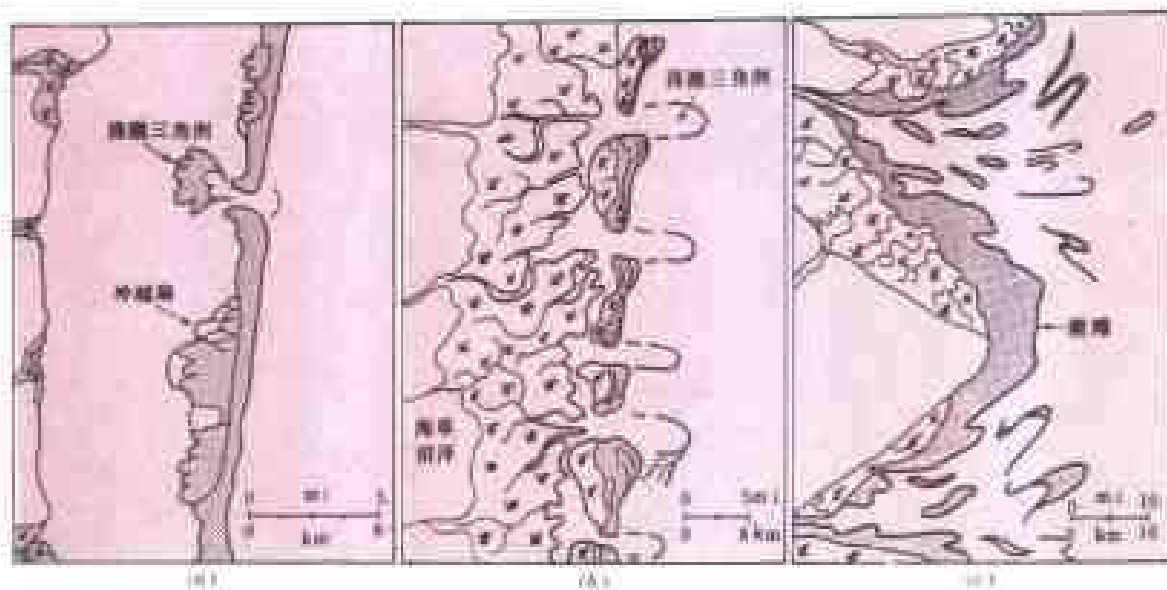


图2 不同潮差海岸砂体几何形态的变化

a—小潮差海岸：障壁岛窄长、连续性好，潟湖水体较封闭；b—中潮差海岸：障壁岛短小，潮流、潮道发育，分隔了潟湖水体；c—大潮差海岸：河口湾发育垂直于海岸的线性潮汐砂脊

(据 Barwis 和 Hayes, 1979)

好的细至中粒砂，磨圆好，几乎不含粘土，重矿物富集，具大型槽状交错层理，前积纹层较陡，可达  $30^{\circ} \sim 40^{\circ}$ 。有植物固定的砂丘，在降低风暴对前滨的侵蚀方面起重要作用。

**障壁岛—潟湖沉积** 由障壁岛、坝后潟湖、进潮口潮道等三种主要相及冲越扇、涨潮三角洲和潟湖潮坪、沼泽等次要相构成。

**障壁岛相** 平行海岸延伸、狭长、低平、由波浪建筑起来的砂质沉积，上部暴露于高潮面之上。由分选、磨圆好，以石英砂为主的干净砂组成，含重矿物，生物贝壳较多，并含少量海绿石。砂的粒径自下向上变粗。底部无侵蚀面。砂体呈长椭圆状，向海一侧平直微凸，向陆一侧因受冲越扇的作用轮廓不规则。障壁岛向海一侧自下而上具备从临滨至前滨、后滨、海岸砂丘等一系列沉积相。

**潟湖相** 潟湖环境的沉积。其中，与聚煤沉积环境有关的是潮湿气候的淡化潟湖相，以富含有机质的细砂岩、粉砂岩、泥岩的互层沉积为主，以含小个体半咸水化石为特征。潟湖淤塞后，变成潮滩或沼泽相。

**进潮口潮道相** 向上变细的砂质沉积层序，底部通常有明显冲刷面，其上常见粗碎屑的滞留沉积。其砂体延伸方向与障壁岛砂体直交并切割障壁岛砂质沉积物，由于潮道有侧向迁移，其沉积作用机理似曲流河，即：潮道一侧受侵蚀另一侧则堆积，形成大型交错层

理，常见鱼骨状层理，宽度一般为数百米至数千米，厚度可达 20m。

**海岸平原沉积** 由一系列与海岸平行的海滩砂脊和滩脊间的沼泽湿地组成，由滩脊连续向海加积形成。主要为泥和粉砂，具水平层理和波状层理。在墨西哥的纳亚特海岸平原上，15km 宽的范围内有多达 280 条相互平行的滩脊 (Curry 等, 1969)，这些滩脊平均宽 50m，高约 1m。层理向陆倾斜，也只有向上变粗的层序。

**障壁岛的垂向层序** 海平面升降速率和沉积物供给速率之间关系的变化，决定了障壁岛体系内相序的差别 (见图 3)。①相对海平面上升、退积的情况下。障壁岛砂体一般呈窄长带状，可能在原地被海水覆盖而成为滨海沿岸砂体，缺乏典型的向上变粗的临滨层序，障壁砂突发性地覆于潟湖细碎屑沉积物之上，其上又被大陆架泥所覆盖。②相对海平面下降、进积的情况下，障壁岛具有典型的向上变粗的临滨层序。③在加积情况下，相的横向移动不大，但相的厚度相对较大。

此外，障壁岛的入潮口潮道具有向上变细的垂向层序，潮道粗碎屑沉积物底部常有冲刷面并有滞留的破碎菱铁矿结核和煤砾等，与具有向上变粗层序的涨潮三角洲砂质沉积有明显区别。

**障壁岛的成因** 主要有四种假说。①博蒙特 (De, Beaumont) 1845 年首先提出，障壁岛的成因是由于波

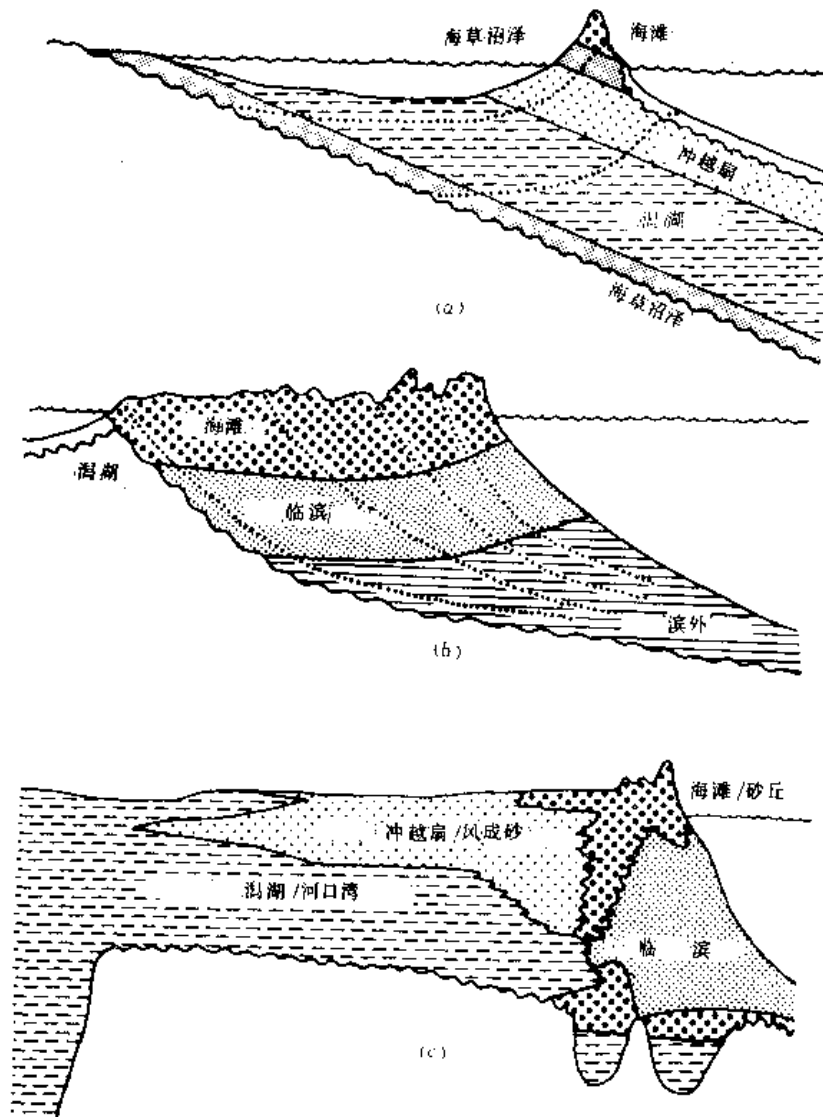


图3 海平面升降速率与沉积物供给速率之间的关系不同时，障壁岛体系内的不同相序

a—退积的障壁岛相序；b—进积的障壁岛相序；c—加积的障壁岛相序

(a. 据 Kraft 和 John, 1979; b. 据 Bernard 等, 1970; c. 据 Fisk, 1959 及 Morton 和 McGowen, 1980)

浪向海岸搬运了滨外砂坝的砂向上建筑而成。②G. K. 吉尔伯特 (G. K. Gilbert) 1885 年研究美国马萨诸塞州的柯德岬后认为：是由沿岸流带来的砂质沉积物形成了海岸砂嘴和障壁岛，但也有一些砂是由波浪向海岸搬运来的。③霍伊特 (Hoyt) 1967 年提出，由于渐新世冰川融化，引起海平面上升，因而淹没了原来的海岸砂脊，砂脊后的洼地变成了潟湖。④F. P. 谢泼德 (F. P. Shepard, 1963) 强调沿岸流的作用，特别在海侵时期，波浪破坏了三角洲，沿岸流将这些砂沿海岸搬运，形成了障壁岛。

障壁砂体和海岸平原的滩脊砂体与滨外或潟湖富有机质的泥岩相过渡，砂质沉积物本身分选磨圆好，孔隙渗透性一般较好，是很好的油气储层，坝后潟湖滩上又是泥炭堆积的场所，因此海岸砂体是寻找煤油气的对象。

(李宝芳)

Zhaotong Meitian

昭通煤田 (Zhaotong Coalfield)

中国最大的第三纪煤田。它位于云南省东北部昭通市，市区居煤

田正中,对外交通主要靠公路,另在市郊建有小型飞机场。全煤田地貌上为一近似椭圆形的山间盆地,北东—南西长 20km、北西—南东宽 8~15km,面积 230km<sup>2</sup>,盆地内有凤凰山等低山。该煤田内分海子、荷花、诸葛营、红卫四个勘探、开发区(右图)。

**地质构造** 昭通煤田为新第三纪山间侵蚀盆地。其基底及外围为二叠纪阳新组、峨嵋山组及晚三叠世须家河组;盆地内沉积了上新世昭通组含煤地层;凤凰山为当时隆起的峨嵋山组玄武岩残山,控制了旁侧的新第三纪沉积。盆地表面覆盖第四系,一般厚 10m 左右。昭通组呈一宽缓的复向斜构造,内有次一级的海子向斜、荷花向斜、诸葛营向斜及凤凰山、狮子山古梁上的小背斜。岩层倾角 3°~10°,在煤田边部煤层露头附近岩层倾角稍陡,可达 20°~30°。煤田内构造简单,断层极少,偶见落差仅 1~2m 的正断层。

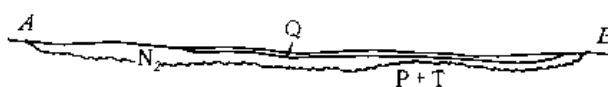
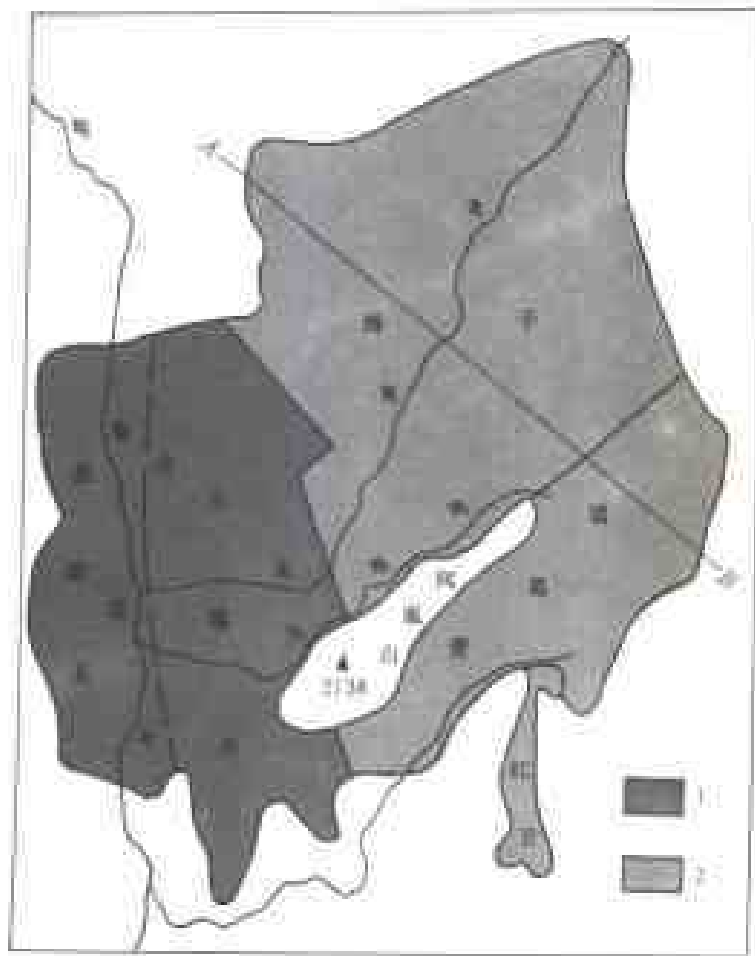
**煤系** 昭通组厚 350~480m,可分上、下两段。下段为砾岩及粘土岩;其上部粘土岩中夹数十层薄煤层及碳质粘土岩;上段由巨厚主要煤层及碳质粘土岩组成,一般含煤 3 层,由上而下编号为 M<sub>1</sub>、M<sub>2</sub>、M<sub>3</sub>,M<sub>2</sub> 为巨厚主要煤层。煤田内各区煤层发育情况各不相同(下表),在海子区 M<sub>2</sub> 煤层最大厚度可达 193.77m。

**煤炭资源** 昭通煤田煤炭资源总量约 10Gt,基本上全属探明煤炭储量,但精查储量不足 1/5。煤种为褐煤,中灰、低至中硫,发热量在 16.7MJ/kg 左右。

昭通煤田各区煤层平均厚度表

(单位: m)

| 煤层号            | 海子区    | 荷花区   | 诸葛营区  | 红卫区   |
|----------------|--------|-------|-------|-------|
| M <sub>1</sub> | 1.20   | 1.20  | 1.20  | 1.20  |
| M <sub>2</sub> | 193.77 | 10.00 | 10.00 | 10.00 |
| M <sub>3</sub> | 10.00  | 10.00 | 10.00 | 10.00 |



昭通煤田示意图

1—规划区; 2—勘探区

**开采地质条件** 昭通煤田煤层厚、倾角平缓、埋藏浅,适于露天开采;水文地质条件简单至中等,但煤层顶、底的粘土质岩石给工程施工带来困难。二叠纪阳新灰岩的裂隙溶洞水水量较大,能满足电厂及矿区用水需要。

**开发概况** 目前昭通煤田仅在周边煤层露头附近有乡镇煤矿小规模开采,供民间燃用。大规模开发已作过前期准备,计划建成一个煤、电联营,工矿开发与城镇建设统筹安排的新型煤炭工业基地。

(王煦曾)

zhaomei

**找煤** (search for coal) 又称初步普查,为寻找煤炭资源,并为对工作地区有无进一步工作价值作出评价所进行的地质调查工作。找煤是在煤田预测或区域地质调查的基础上,在对含煤情况尚未实际了解的地区进行的,其主要任务是寻找含煤岩系和煤炭资源。找煤区的范围,应尽量与煤田或煤产地的自然边界相适应,对于面积很大的煤田,可分段进行,但不宜过小。

**工作方法** 根据上级下达的任务,首先,搜集找煤区及邻区的已有资料,包括各种原始资料、地质矿产资料以及各种测量成果和航测、遥感资料;然后,在熟悉已有资料的基础上,进行野外踏勘,详细研究在找煤区范围内,已有资料的可靠程度,建立对找煤区的初步认识,并了解坑探工程的施工条件;最后,编制找煤工作设计,其内容主要包括:目的任务、地质概况、工作要求、工作及工作量,并附必要的图纸、表格等。

找煤工作方法主要取决于表土对含煤岩系的掩盖程度和地质条件的复杂程度。掩盖程度决定了勘探手段的选择及其相互配置;地质条件的复杂程度决定着工程点的间距和密度。根据掩盖程度的不同,找煤工作分为暴露区找煤、半隐伏区找煤、隐伏区找煤。

**暴露区找煤** 一般是在煤田预测或区域地质调查发现含煤岩系出露良好的地区内进行,其主要工作是进行相应比例尺的地质填图,在局部掩盖地段,施工一定数量的坑探工程和浅钻,调查、访问区内或邻区的生产小窑、老窑。

(1) 实测地层剖面。选择在基岩出露较好、地层发育完整、构造简单的地段,详细测绘地层剖面,初步建立地层层序,初步了解含煤岩系、煤层、标志层的大致情况,以便确定填图单位。实测地层剖面分为全层实测地层剖面和重点层段实测地层剖面两种。测区内全层实测地层剖面应不少于1~2条,重点层段实测地层剖面的间距,一般为1000~8000m,视找煤区地质构造复杂程度和含煤岩系的沉积变化而具体确定。

(2) 进行地质填图。根据工作区地质构造复杂程度的不同,找煤阶段一般进行1:50000~1:25000比例尺的地质填图。通过地质填图初步了解含煤岩系的分布范围,了解煤层层数、厚度和埋藏深度,初步了解工作区的构造形态。在地质填图中,根据各种直接的和间接的找煤标志,在含煤岩系中寻找煤层。

(3) 布置坑探工程。包括探槽、探井、探巷和小窑调查与清理。坑探工程是暴露区的主要勘探手段,主要用来揭露被较薄表土覆盖的含煤岩系、煤层及地质构造情况。探槽分为揭露整个含煤岩系的主干槽和揭露

含煤岩系某一部分或煤层露头、标志层、地质界线或地质构造的短槽。找煤阶段主干槽的间距一般为1000~2000m。表土覆盖较厚或地面条件不利时,可布置探井和探巷。

**半隐伏区找煤** 指在含煤岩系部分出露,或其下伏或上覆地层出露或零星出露地区,在区域地质调查的基础上,做好地质填图工作,结合区域地质规律,根据区域地层层序、厚度和地质构造,推断含煤岩系的可能分布范围,再用物探加以圈定,并初步了解构造形态,最后用钻探加以验证,布置若干条找煤总景线,其间距一般为6000~8000m。

**隐伏区找煤** 在煤田预测的基础上,对预测有被表土覆盖的含煤岩系的地区,用物探探查地质构造规律,圈定含煤岩系的分布范围,大致了解基岩埋藏深度及起伏形态,然后用钻探加以验证,布置找煤总景线,其间距一般为6000~8000m。在隐伏区找煤,物探与钻探相结合的方式有以下几种。

(1) 重力—电法—钻探综合法。先使用重力法,然后在布伽重力异常等值线图上选择有可能赋存含煤岩系的地区,开展大面积小比例尺的地面电法工作,最后根据电法的定性解释结果,在认为赋存有含煤岩系的地段布置钻孔进行验证。

(2) 电法—钻探综合法。先进行地面电法工作,然后选择认为可能赋存有含煤岩系的地段用钻探进行验证。

(3) 电法—地震—钻探综合法。先采用电法初步探查,再用地震详细探查,然后进行钻探验证。

**找煤程度要求** 找煤阶段总的工作程度要求是①初步查明地层层序和含煤地层时代,了解含煤岩系的分布范围,了解煤层层数、厚度和埋藏深度;②初步了解工作地区的构造形态;③初步了解煤类和煤质;④初步了解工作地区自然地理条件、第四纪地质、地貌和水文地质情况;⑤初步了解其它有益矿产情况;⑥计算煤炭D级储量。

(左光国 艾树勋)

zheshebofa dizhen kantan

**折射波法地震勘探** (seismic refraction surveys)

又称地震折射法、折射波法,利用人工激发的地震折射波(以临界角进入和离开高速折射层为特征的地震波),勘查地下折射界面的深度、构造形态及其性质的地震勘探方法。与广泛应用的反射波法相比,其优点是能直接获得与岩性有关的折射层的地震波传播速度;更有利于研究埋藏很浅或很深的界面;有利于探查大断层;有利于寻找特殊的高速层。其缺点





是:所研究的界面少;勘探精度较低;野外施工复杂。

目前,折射波法主要用于浅层地基和地下水的勘测及深部地壳的研究。

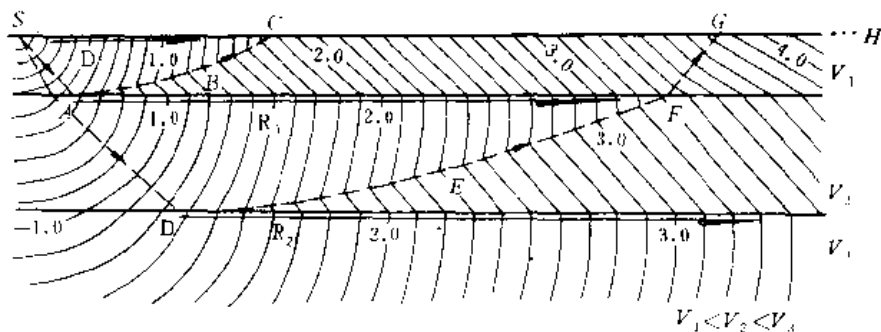
**沿革** 折射波法应用较早。1919年,德国人L.明特罗普(L. Mintrop)获折射波法专利。1924年后,应用此法在墨西哥湾沿岸、德国等地发现了大量与油气储集有关的浅部盐丘,使地球物理勘探方法在寻找石油中取得极大的成功。20世纪30年代末,苏联Г. А. 甘布尔采夫(Г. А. Гамбурцев)等人借鉴反射波对比法,提出了折射波对比法,不仅在初至区,也可在续至区对比折射波。20世纪50年代到60年代初,折射波法曾广泛用于中国煤田勘探,填制基岩地质图;圈定含煤岩系分布范围,查明新生界下基岩面的起伏及基岩内的一些大断层。

**原理** 在地下某一岩层地震波传播速度高于所有上覆岩层地震波传播速度的条件下,当地震波从上覆低速介质中以临界角进入下伏高速折射层时,将沿折射层顶面附近以折射层波速传播,并返回地表。这种波称为折射波,又称明特罗普(Mintrop)波或首波(右上图)。折射层与上覆层间的界面称为折射界面。折射波的旅行时间与折射界面的深度、炮检距(爆炸点与检波器之间的距离)及其在界面上、下波速有关。折射波时距曲线常接近直线或分段接近于直线,其斜率取决于折射层的波速与倾角,通过对折射波时距曲线的分析与解释,可以求得折射层的深度、倾角及反映折射层岩性的速度信息。

**数据采集特点** 在离震源一定范围内,接收不到折射波,这个范围称折射波的盲区。检波器必须布置在盲区之外,常在相当于折射界面深度数倍的距离上观测折射波。

多数情况下,震源与检波器排列布置在同一直线上,构成纵测线观测系统,在勘查断层或盐丘时,震源与检波器排列可不在同一直线上,而排列呈直线状或呈弧线状,构成非纵测线观测系统。

两个不同深度的折射层,如果深部折射层传播速度更高,则在某一炮检距附近,两个折射层的折射波将同时到达相同的检波器,互相叠加,不易分辨,产生干涉,这一区域称为干涉区。超过干涉区,深层的折射波



初至折射波波场图

SC—直达波D的初至区;CG—折射波R<sub>1</sub>的初至区;GH—折射波R<sub>2</sub>的初至区

将最先到达测线,形成初至波。能获得某折射界面初至波的地段,称该波的初至区,它是接收折射波的最佳地段。

**资料解释** (见地震勘探资料地质解释)。

(刘天放)

zhenyuan

**震源** (seismic source) 地震勘探中用人工方式释放能量以激发地震波的一种装置。它应具有能量强、穿透深度大、频带宽、信噪比高、重复性好的性能。震源可分为炸药震源及非炸药震源两类。20世纪50年代中期,只有炸药震源,至今在陆上地震勘探中它仍占60%以上。近20年来,随着多次叠加、数字记录及计算机处理等新技术的发展,非炸药震源得以应用,在海上勘探中几乎取代了炸药震源;陆上勘探中它作为炸药震源的补充,也得到越来越多的应用。

**炸药震源** 以炸药激发地震波的装置。炸药是一类能迅速发生化学反应,对周围介质作功和产生破坏的能源物质(化合物或混合物)。常用的炸药有TNT及硝铵炸药两种。这种震源多数呈圆柱状药包沉放在数米至数十米深的注水钻孔中,由电雷管引爆。在打钻孔困难地区,偶尔也在空中、水中或坑中激发。炸药量的大小,爆炸介质的岩性、药包形状及其与周围介质的耦合等都影响地震波形状、振幅大小和频率高低。中国煤田地震勘探大都采用钻孔中激发的炸药震源。

**非炸药震源** 包括落重、气爆、气动、电火花震源及可控震源等。

**落重震源** 借助从高处下落重锤冲击与地面耦合的钢板激发地震波的装置,也是最早应用的非炸药陆地震源。美国McCollum地球物理公司1954年最先使用,所用装置总重3t,落锤高约3m。在浅层工程地质



勘测中常用重仅数公斤至十几公斤的铁锤直接冲击地面。

**气爆震源** 用可燃烧爆炸的气体在封闭爆炸室中与氧混合,由电火花点火爆炸,瞬间释放大能量,驱动爆炸室活动底板撞击地面激发地震波的装置。

**气(汽)枪震源** 将高压空气或蒸汽压入汽枪枪膛,并从枪口突然释放于水中,产生很强的冲力激发地震波的装置。此类震源多用于海上,经改进后也可用于陆地勘探。

**电火花震源** 利用水中高压电极间突然放电产生高温,使电极周围的水瞬间大量气化,形成气泡,随后又突然中断消失,产生压力脉冲激发地震波的装置。

**可控震源** 以特种车载的振动器冲击地面激发地震波的装置。振动器产生延续时间为数秒至数十秒的正弦振动。振动器的能量及频率可人为控制。

非炸药震源虽然多属低能、低信噪比震源,且常需多台设备、多次重复激发,但在海洋、湖沼、沙漠及居民稠密等无法打钻和不能放炮的特殊地区,仍是一类无法取代的有效震源。

(刘天放)

zhiliu dianfayi

**直流电法仪** (DC electrical prospecting apparatus)

电法勘探中用于直流电法野外观测天然或人工电场的仪器。其测量部分本质上是一种观测直流电位差的仪器。

直流电法中,只有自然电场法是观测地球表面的天然直流电场,其它方法都是观测人工直流电场。直流电法仪不仅要能观测地面两点之间的电位差  $\Delta V$ ,而且还应能测量人工供电电路中的电流强度  $I$ 。按照这一要求,电法仪中的供电电路内,一般接有一两个标准电阻,用电法仪本身测量人工供电电流通过标准电阻时产生的电压降,再用此值除以已知的标准电阻值,求出供电电流强度值。

直流电法仪的供电部分,常采用干电池组或带整流、滤波部件的交流发电机电源装置,通过电缆送至相应的接地供电电极,将电流供入地下。

最早的直流电法仪是1835年R.福克斯(R. Fox)采用的以弦线电流计观测自然电位的仪器。以后经不断改进完善,形成了人工补偿电法仪、自动补偿电法仪和现代采用的内装微处理机的数字电法仪。

**人工补偿仪** 用已知电位差和待测电位差相比较的方法来确定待测电位差大小的直流电法仪。该仪器由电位补偿电路、极化电位补偿电路和供电电路三部分组成。

**电位补偿电路** 用补偿法测量被测电位差的电路。电路内有一个双十进制的补偿器,它由九个  $10\Omega$  电阻和九个  $1\Omega$  线圈电阻组成。用小干电池作补偿线路电源。改变几个开关的位置,即可使补偿电路内的工作电流分别为  $5\text{mA}$ 、 $1\text{mA}$ 、 $0.2\text{mA}$  和  $0.05\text{mA}$ ,从而使补偿器具有  $0\sim 495\text{mV}$ 、 $0\sim 99\text{mV}$ 、 $0\sim 19.8\text{mV}$ 、 $0\sim 4.95\text{mV}$  四种补偿范围。由地面测量电极向仪器输入被测电位差后,使仪器内的补偿电位差与被测电位差方向相反,并人工逐次进行补偿,补偿情况由仪器面板上的检流计指示。当补偿电位差与被测电位差大小相等时,检流计指示为零,可读出被测电位差值。

**极化补偿电路** 用以消除打入地下的两个(或两组)铜质测量电极之间所存在的极化电位及其它自然电位(测量人工电位的干扰因素)的补偿电路。极化补偿器也是一个用小干电池作电源的电位补偿电路,由2~3个电阻值不同而连续可调的可变电阻构成,串联在测量电路中。仪器供电前,先将自然电位补偿掉,然后观测。

**供电电路** 由两个电阻值分别为  $0.1\Omega$  和  $0.01\Omega$  的高精度电阻和一个同步开关组成的电路。电阻用来观测供电电路中的电流强度。同步开关用来在观测时使供电电路和测量电路同时接通或断开。

这种仪器的优点是,线路结构简单,体积小,重量轻,工作可靠,价格低,能够满足观测精度要求,在20世纪四五十年代应用广泛。它的缺点是,操作繁琐,读数慢,观测值受人为因素影响。

在20世纪40年代后期,还出现过一种示波记录仪,它用光点检流计的偏转指示观测被测电位差的大小,用感光纸记录。由于其较笨重,野外洗象又困难,且效率低,因而未广泛使用。

**自动补偿仪** 可直接从微安表上读出被测的电位差和电流强度,而不用人工逐次补偿的直流电法仪。

被测电位差输入仪器后,这一信号经过极化补偿器、滤波器消除电极极化电位、自然电位和  $50\text{Hz}$  工业电流引起的干扰后,送入调制型直流放大器放大,再以直流信号形式输出。该输出电流通过指示电位差值的微安表和反馈电阻,在反馈电阻两端形成反馈电压。在调制型直流放大器作用下,该反馈电压逐渐逼近被测电位差,进行电子自动补偿。当两者非常接近时,电路处于平衡状态,微安表停止偏转,指示出被测电位差值。测量供电电流强度时,被测电位差变成串联在供电回路中的标准电阻两端的电压(即供电电流通过该电阻的电压降),经自动补偿后,由微安表指示相应的供电电流强度值。

电子管自动补偿仪的最大缺点是,把输入的直流

信号变为交流信号的振动物容易出故障,且调节费事。20世纪70年代出现了用晶体管电路代替电子管电路的自动补偿仪。其后,又用集成电路代替部分晶体管电路,解决了这一问题。

在自动补偿仪上配置时间控制器,可制成激发极化直流电法仪。

**数字电法仪** 20世纪80年代初开发出的第三代直流电法仪,它采用大规模集成电路,对被测信号进行数字采样,用内装的微处理机,控制仪器工作参数、工作过程,存贮观测数据,用软件实现对观测数据的叠加、计算,直接显示最终的视电阻率值。其观测精度、效率高,抗干扰能力强,基本上消除了人为读数误差。这类仪器主要由供电单元、测量单元、中央处理机和控制单元等四部分组成。

**供电单元** 把电源供给的直流电变为低频交流方波,一部分供入地下;一部分经滤波放大并转换成数字信号后输入中央处理机,用以测量供电电流强度。

**测量单元** 先将被测电位差信号进行低通滤波,再对自然电位作自动补偿,并通过计算,消除自然电位在观测过程中的变化。它通过设置的陷波滤波器,消除工业用电干扰。该单元可对被测的模拟方波信号进行数字采样,并将方波信号经模数转换成数字信号后输入到中央处理机。采样点数和第一个采样点延迟时间按实际需要选择。

**中央处理机** 整个仪器的核心部分,由它控制仪器的其它单元,并对供电单元的过压或过流实施自动保护。它可存贮每个测点和每次观测的基本数据(Syscal R<sub>2</sub>可存贮13种),并根据实际需要进行消除自然电位变化、叠加、K值和视电阻率值等各种计算。它还存贮有电阻率法常用排列方式各种装置系数的计算公式,将所用排列方式的供电电极、测量电极的电极距键入后,即可在控制单元的液晶显示器上直接显示观测的视电阻率值。

**控制单元** 由触摸式键盘、键盘控制器、液晶显示器、串行接口和驱动电路等组成。仪器工作时,可通过键盘选择电测深、电剖面等工作方法,供电时间、接收电压采样延迟时间等时间参数,以及供电电极和测量电极电极距等几何参数,使仪器在适合实际观测的条件下运行。通过仪器内装的RS-232接口,仪器内存的观测数据可传输到外接计算机进行各种数据处理和成图。

这类仪器质量轻,功能多,精度高,适用范围广,基本上可用于直流电法的各种方法,是目前普遍使用的直流电法仪,中国正在推广应用。

(黄治平)

Zhongguo hanmeidiceng

**中国含煤地层** (coal-bearing stratum of China)

含煤地层是一个含可采煤层的岩石地层单位,又称含煤岩系。中国的含煤地层,主要指泥盆纪至第三纪地史阶段中所形成的一些含可采煤层的岩系。除含煤地层外,中泥盆世以前还有含石煤地层;第四纪还有含泥炭地层。

**综述** 自元古代以来,在中国境内各地质年代均有成煤作用发生,按成煤植物等聚煤条件,可归纳为中泥盆世前、晚古生代、中生代、新生代四个成煤阶段。

**中泥盆世前** 以菌、藻类等低等海相生物形成石煤的时期,含石煤地层基本属浅海环境成因。最主要的含石煤地层形成于早寒武世和早志留世。①早寒武世含石煤地层,主要有筇竹寺组(分布在川、滇、黔)、牛蹄塘组(分布在川、鄂、湘交界处)、水井沱组(分布在鄂西)、鲁家坪组(分布在陕南)、清溪组(分布在桂北)、黄柏岭组(分布在鄂、皖交界处)、王音铺组(分布在赣北)、黄栗树组(分布在皖中)、荷塘组(分布在浙西、赣东)等。②早志留世含石煤地层,主要有梅子垭组(分布在陕、鄂)、大贵坪组(分布在陕、鄂)、龙马溪组(分布在黔)。③其它含石煤地层,主要有早震旦世煤窑沟组、南泥湖组、白木沟组(分布在豫西);晚震旦世灯影组(分布在湘、鄂)、西峰寺组(分布在浙西北)。中寒武世八卦庙组、毛坝关组(分布在陕南);晚寒武世田家坪组(分布在湘西)。中泥盆世东岗岭组(分布在粤、桂)等。

**晚古生代** 以近海型蕨类植物为主要成煤植物,含煤地层一般属近海型含煤岩系。主要有早石炭世、石炭二叠纪、晚二叠世三套含煤地层。

(1)早石炭世含煤地层。形成于早石炭世后期,主要分布于南方各省。

(2)石炭二叠纪含煤地层。形成于晚石炭世后期至晚二叠世,分布于北方及西北地区东部。

(3)晚二叠世含煤地层。形成于早二叠世后期至晚二叠世,分布于南方。

此外,仅在一些局部范围内发育的含煤地层有中泥盆世曲靖组(分布在云南禄劝);晚泥盆世五通组(分布在苏南);早石炭世红土洼组(分布在甘肃靖远)等。而早二叠世前期的梁山组,虽其含煤性较差,但分布范围较广,仍不失为南方不少地区有价值的含煤地层。它在各地名称不同,主要有黔阳组(湘西北、黔东南),铜矿溪组(四川),马鞍山组(鄂西),麻土坡组(鄂东南),牌楼组(皖南)等。

**中生代** 以裸子植物为主要成煤植物。含煤地层

则从晚三叠世的内陆型、近海型兼有,发展到侏罗纪、白垩纪以内陆型为主,近海型次之(见近海型含煤岩系、内陆型含煤岩系)。主要有晚三叠世、早中侏罗世、侏罗白垩纪三套含煤地层。

(1)晚三叠世含煤地层。形成于晚三叠世末期,分布于南方及西北。

(2)早中侏罗世含煤地层。形成于早侏罗世至中侏罗世,分布于全国除滇、藏外的广大地区。

(3)侏罗白垩纪含煤地层。形成于侏罗纪末期或白垩纪初期(认识有分歧),分布于东北地区,往西到内蒙古大青山、甘肃西秦岭仍有零星分布。

新生代 主要成煤植物为被子植物。含煤地层既有内陆型又有近海型,但以内陆型较重要。有早第三纪、晚第三纪两套含煤地层及第四纪含泥炭地层。

(1)第三纪含煤地层。在北方以早第三纪始新世及渐新世形成者为主;在南方云南及两广、台湾等地,则以晚第三纪中新世及上新世形成者为主。

(2)第四纪含泥炭地层。形成于晚更新世至全新世。

**形成条件** 包括含煤地层形成时的古植物、古气候、古地理、古构造条件以及它们间互相配置的关系等(见聚煤条件)。

**分布特征** 中国含煤地层从形成、经构造变动到目前保存状况的全部过程,都体现出时间性、区域性、相变性、穿时性、成煤古地理位置变迁、聚煤区南北迁移等六个方面的特征。

**时间性** 中国含煤地层形成于几个互不连续的地质时期,这主要和成煤植物的发育状况有关(见聚煤期)。每一个重要含煤地层形成时都有十分良好的植物地理景观(参见彩图插页第25~27页)。

**区域性** 每一含煤地层都限定在一定地域内分布,这系由成煤期大地构造和成煤期后的构造变动所控制(见聚煤区)。

**相变性** 含煤地层常因古地理位置变化而横向相

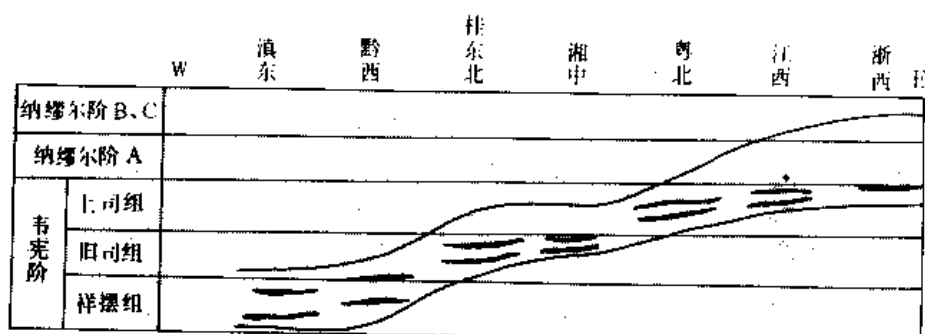


图1 华南从西往东早石炭长含煤地层延限及主要含煤层位时迁示意图

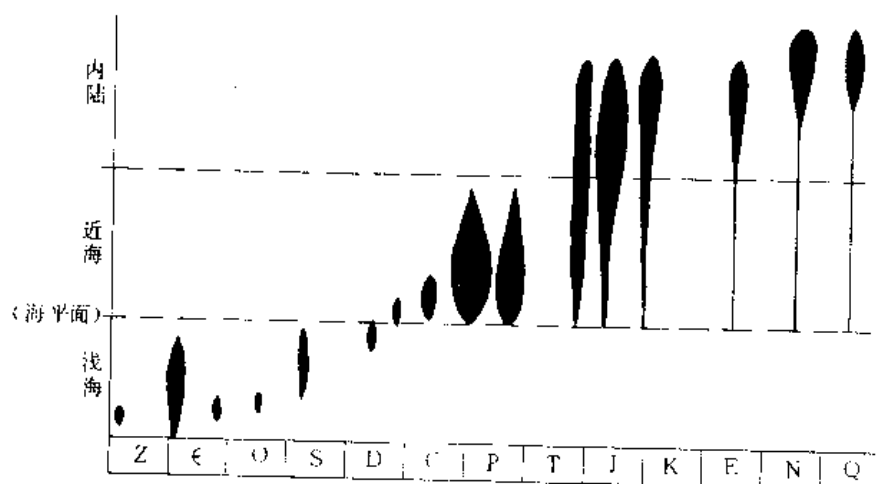


图2 中国成煤古地理位置示意图  
(黑棒粗细代表聚煤作用的强弱程度)

变成非含煤地层。这对内陆型中、新生代含煤地层非常普遍。近海型含煤地层则一般因地形分异不显,岩(煤)层延展稳定,含煤地层在短距离内不太会变成非含煤地层,而含煤地层的岩性结构则仍有相当变化。

**穿时性** 含煤地层是岩石地层单位,在存在相变的同时也就产生了同一岩层甚至同一含煤地层与时间面相交的穿时性(图1)。

**成煤古地理位置变迁** 由于生物演化规律,随着成煤植物对自然环境适应能力的增强,造成了最有利于成煤的古地理位置不断变迁。早古生代最有利于成煤的古地理位置是浅海地带,晚古生代最有利于成煤的古地理位置变成近海沿岸地带,中、新生代最有利于成煤的古地理位置则为内陆盆地(图2)。

**聚煤区的南北迁移** 主要由于古气候影响,控制了成煤植物生长和成煤作用发生的范围,造成各不同地质时代含煤地层分布区域在中国北方与南方之间发生来回迁移的现象(图3)。

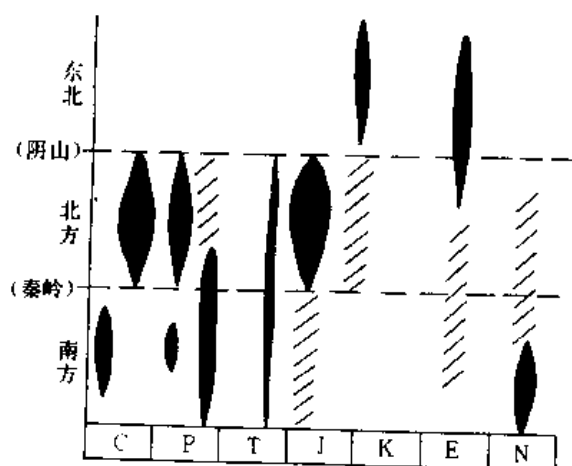


图3 中国含煤地层的纬向分布示意图

(黑棒粗细代表聚煤作用的强弱程度)

(田宝霖 王煦曾)

## Zhongguo mei bianzhi guilü

### 中国煤变质规律 (metamorphic regularities of Chinese coal)

中国煤变质总的规律从地质时代上看,晚古生代以中、高变质煤占较大比例,尚未发现褐煤;中生代虽有褐煤,但以低、中变质烟煤为主,并有高煤级烟煤以至无烟煤;第三纪以褐煤为主,有少量低煤级烟煤。从地区上看,大致在北纬38°以北,包括东北地区 and 西北大部分地区,总的是以褐煤和低、中煤级烟煤为主;北纬38°以南的华北地区,产各种煤级

的烟煤和无烟煤;西南地区主要赋存中、高煤级烟煤,而东南地区则以高煤级烟煤和无烟煤占优势。中国煤变质在地质时代上和在地区上的分带规律性是由煤变质作用类型和煤经历的演化阶段所决定的。接触变质作用和动力变质作用对中国煤变质的影响范围都很小(见煤变质作用)。

**中国煤变质演化阶段** 中国煤变质大都经历三个演化阶段。

**第一演化阶段** 普遍经受煤深成变质作用,奠定了中国煤变质的基础。东北地区侏罗白垩纪煤具有西部煤级低而东部煤级略高的特点。西部的扎赉诺尔、伊敏、霍林河等煤田,由于含煤岩系厚仅1000~1400m,其上又无白垩系的覆盖,因而只形成了褐煤;而东部的鹤岗、勃利、鸡西等煤田,含煤岩系厚达1500~2300m,连同上覆的上白垩统,总厚达3000~4000m,因而形成气煤,在此基础上,又由于有燕山期岩浆侵入,使气煤进一步变质,形成了肥煤—无烟煤的煤级分带。四川盆地晚二叠世含煤岩系在重庆附近被较厚的中生界所覆盖,连同含煤岩系本身共厚约4650m,故而煤变质达焦煤阶段;而位于龙门山一带的绵竹附近,由于印支运动使龙门山隆起,晚二叠世含煤岩系的上覆岩系较薄,连同含煤岩系仅厚1200m左右,因而煤级相应也较低,仅在气煤—气肥煤阶段。云南祥云、双柏、禄丰地区,发育了晚三叠世含煤岩系,它们位处中生代持续沉降的大型拗陷,但盆地东、西部拗陷幅度不一,东部禄丰—平浪一带沉降幅度相对较小,产肥煤;西部祥云一带沉降幅度远大于东部,煤级已达无烟煤阶段。新疆早中侏罗世含煤岩系,在准噶尔盆地西缘的克拉玛依,沉积厚度不足1000m,产褐煤;而盆地南缘的乌鲁木齐附近,含煤岩系厚达2000~2500m,产低煤级烟煤。

在多纪煤田中,地质时代较早的煤,其煤级一般都高于地质时代较晚的煤。内蒙古大青山石拐沟一带的晚石炭世煤达到中、高煤级,早中侏罗世煤则以气煤为主,而侏罗白垩纪煤还处于褐煤阶段。中国含煤岩系虽常只有几百米厚,但仍可显示煤深成变质作用的特征。河南平顶山矿区香山寺井田上石盒子组煤层的挥发分 $V_{daf}$ 为34%~36%,山西组煤层的 $V_{daf}$ 为33%~36%,而太原组煤层的 $V_{daf}$ 为33%~35%,挥发分梯度为0.68%/100m;扎赉诺尔侏罗白垩纪含煤岩系上部 $I_1$ 煤层的 $V_{daf}$ 为48.84%,而下部 $IV_3$ 煤层的 $V_{daf}$ 为43.45%,挥发分梯度为1.35%/100m;尽管挥发分梯度都不大,但煤深成变质作用所引起的煤级垂向分带现象都很明显。在同一煤盆地中,沉降幅度不同也能显示煤深成变质作用的特点。对于中国晚古生代含煤岩系,其盖层厚度所反映的沉降幅度,特别是中生代沉降



幅度的大小,对煤级分带的影响尤其重要。

在以正常地温为热源的煤深成变质作用下,中国各地质时代含煤岩系由于沉降幅度和受热时间长短不同,形成了不同煤级的煤。华北的晚古生代含煤岩系和华南的二叠纪含煤岩系,由于各地地热场不同,当沉降幅度小于2000~2500m时,形成气煤—肥气煤,如河北开滦、山东兖州、安徽淮南、内蒙古桌子山等煤田;当沉降幅度为3000~3500m时,可能形成肥煤,如山西沁水盆地中部;当沉降幅度达4000~5000m时,可能形成肥煤或更高的煤级,宁夏同心韦州、四川重庆、河南济源下冶等地,煤级为肥煤到瘦煤阶段;广西河池中泥盆世含煤岩系的沉降幅度超过6000m,经受煤深成变质约达3.6亿年以上,已进入高变质无烟煤阶段。侏罗纪含煤岩系,当其厚度为1000~1500m时,可形成褐煤,其如扎赉诺尔煤田的上部煤层;当其厚度在2000~2500m时,则可形成低煤级烟煤,如新疆乌鲁木齐煤田。第三纪含煤岩系一般沉降幅度不超过1000m,多形成煤化程度不同的褐煤,如云南小龙潭、广西百色、山东黄县等煤田。以上情况反映了中国煤深成变质作用的普遍性。

各地质时代的煤,在其形成和沉降阶段,包括连续沉积上覆岩系的沉降阶段到后期地壳变动之前,系经受煤深成变质作用,属于煤第一演化阶段。

**第二演化阶段** 中国各地质时代含煤岩系及其上覆岩系一般厚度较薄,煤化程度一般不高。华北晚古生代煤经过第一演化阶段,经受煤深成变质作用,通常最高达到肥气煤阶段,湘赣晚古生代煤可达气煤—焦煤阶段,但中国却不乏中、高煤级的烟煤和无烟煤。沁水盆地南、北端,河南济源,福建永春的古生代高煤级烟煤、无烟煤;山东坊子、宁夏汝箕沟的侏罗纪无烟煤;西藏拉萨土门格拉的晚三叠世无烟煤;辽宁抚顺、黑龙江依兰、西藏南木林的第三纪烟煤都不是单纯由煤深成变质所形成的,而是煤区域岩浆热变质作用起了主导作用。印支运动、燕山运动、喜山运动都对形成于它们之前的煤产生影响,特别是岩浆侵入导致的煤区域岩浆热变质,其影响尤为重要。其中广泛发育的燕山期强烈的岩浆侵入具有长期性与多期性的特点。经受煤深成变质而形成的低煤级煤,其一部分受到岩浆更高温度的烘烤和与岩浆伴生的热液、热气的影响,亦即叠加了煤区域岩浆热变质作用,便增高到中、高煤级煤,并形成了明显的煤级分带。

燕山期岩浆侵入有明显的方向性和多期性的特点。

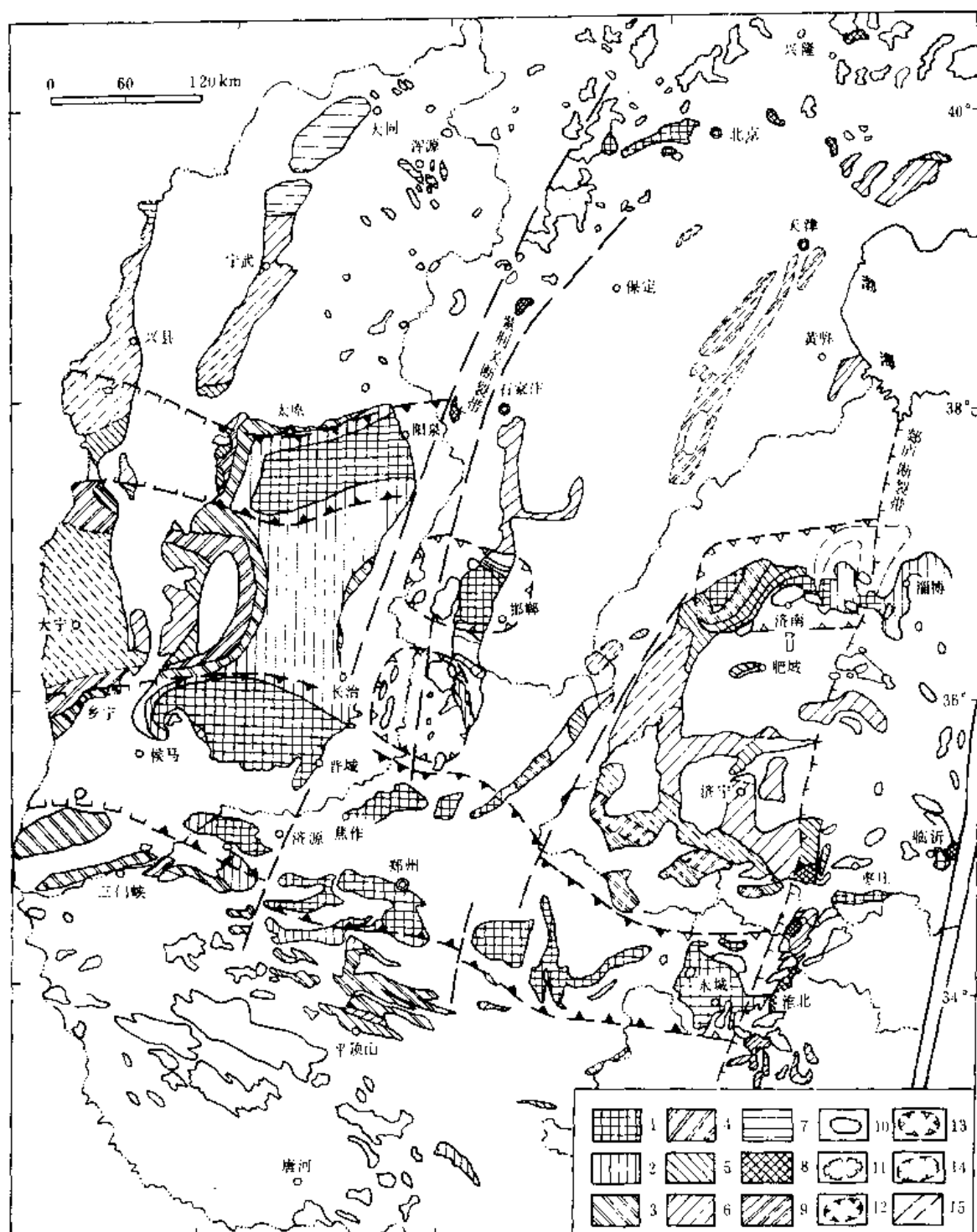
燕山期岩浆活动明显的方向性有二,一是呈东西向断续分布,由南向北有①南岭纬向构造带,西起广西

西林,经湘南骑田岭,赣南龙南,粤东北兴宁、梅县到闽南龙岩、漳平;②北纬27°~28°之间,西起湘中,经湘东攸县,赣西萍乡到闽北邵武;③北纬35°~36°之间;④北纬37°~38°之间,这两者均沿东西方向横穿全国断续分布;⑤北纬40°附近,西起内蒙古呼鲁斯台,宁夏汝箕沟,山西大同,东到河北蔚县、柳江;⑥阴山—天山纬向构造带,西起新疆昭苏,向东断续分布;二是呈北北东向断续分布,由西向东有①沿贺兰山、龙门山;②北起河北蔚县,沿太行山东麓到鹤壁附近;③北起山东沾化到河南永城、安徽临涣;④沿郯庐断裂。东西向和北北东向岩浆活动带复合处常使岩浆侵入活动得到加强。原北纬35°~36°岩浆分布带由于第三纪北北东向断裂右旋活动而向南位移到北纬34°~35°,并在河南永城—安徽宿州附近与山东沾化—安徽临涣北北东向岩浆活动带复合,岩体侵入浅、出露多、岩性复杂(闪长玢岩、辉绿岩、花岗斑岩等),这里正位于东西向的宿北断裂被北北东向的丰涣断裂所切割处。太行山东麓的高变质煤带,则是太行山断裂带及其与两个东西向破碎带相交处燕山期岩浆多期活动的产物。

燕山岩浆活动的多期性。邯邢煤田燕山期岩浆侵入的地质时代,武安磁山、涉县符山为1.80~1.40亿年,武安矿山村、涉县固新镇为1.40~1.20亿年,武安洪山、安阳李珍为1.20~0.69亿年。邯邢煤田康二城矿井中太原组野青粉末状无烟煤的形成是岩浆多期侵入的结果。燕山早期侵入到附近奥陶系灰岩中的闪长岩岩浆已将野青煤“预热”,使其变质到高煤级烟煤或无烟煤,燕山晚期正长岩岩浆侵入到煤层下部,尽管其温度很高,然而由于煤层中此时所含的碳氢化合物已经很少,挥发分产率很低,胶质层厚度 $y$ 值接近或等于零,已经失去粘结性,煤层已不再具备成焦的条件,在接触处只形成粉末状无烟煤。

煤演化第二期的特点是,煤深成变质作用形成的低煤级煤又叠加其它类型的煤变质作用,从而使部分低煤级煤又提高了变质程度。华北和华南的晚古生代煤,在煤深成变质作用的基础上,主要又叠加了煤区域岩浆热变质作用。

**第三演化阶段** 奠定中国煤变质分带格局。第三演化阶段华北虽在增高煤级方面不明显,但却确定了华北石炭—二叠纪煤变质分带的格局。紫荆关断裂带和郯庐断裂带在新生代沿北北东向作右旋活动,断裂的东侧向南移动,使东西向断续分布的高煤级带产生断移(下页图),相对紫荆关断裂带西侧沁水盆地北部的高煤级带而言,断裂带以东的太行山东麓和鲁中高煤级带向南大致移动了纬度1°左右的距离,从北纬37°



华北地区二叠系山西组主煤层变质分带图

1—无烟煤;2—贫煤;3—瘦煤;4—焦煤;5—肥煤;6—气煤;7—长焰煤;8—无烟煤—焦煤;  
9—焦煤—气煤;10—燕山期岩体;11—推测深成岩浆热变质区;12—深成岩浆热变质区;  
13—中深成岩浆热变质区;14—浅成岩浆热变质区;15—断裂带



~38°移到了北纬 37°~36°, 约 100km。同样, 与紫荆关断裂带西侧的晋东南高煤级带相比, 豫中高煤级带也向南移动。紫荆关断裂在北纬 40°附近的移动不明显。紫荆关断裂是库拉—太平洋板块向亚洲板块俯冲引起的。当库拉板块向西俯冲时, 中国大陆出现北北东向紫荆关压性断裂带; 当库拉—太平洋板块向北北西俯冲时, 使北东—北北东向断裂出现顺扭剪切活动。在演化第三阶段, 紫荆关断裂及其同类型性质的断裂确定了华北晚古生代煤变质分带的格局。东南沿海的晚二叠世深成变质煤, 既经受了煤区域岩浆热变质作用又经历了后期构造改造。中国其它地区各地质时代的煤, 也大都经历了这三个类似的演化阶段。在第三演化阶段, 煤本应再度经受煤深成变质作用, 但燕山运动使大多数石炭二叠纪煤被抬升到埋深较浅处, 距地表多在 1000m 以内, 所经受的古地温, 除个别中生代沉降区外, 一般低于 50℃。这样低的温度尚不足以使第三演化阶段进行变质作用。除非中生代侵入体的余热尚未散尽。豫中煤田山西组主煤层二<sub>1</sub>煤现在的埋深, 从平顶山的 900 余米, 向北经禹县的不足 900m, 到密县的 600 余米, 荥巩的 150 余米, 从南向北埋藏深度愈来愈小, 相反, 煤级却愈往北愈高, 平顶山以气煤、肥煤为主, 禹县为瘦煤、贫煤, 密县主要是贫煤, 荥巩为无烟煤, 还有部分超无烟煤。再以禹县而言, 现在埋深 100m 左右和 700m 左右处的煤, 都达到了瘦煤阶段。这些事实说明, 华北石炭二叠纪煤, 在演化晚期阶段经受的地温低, 没有进一步加深变质。

**中国各主要聚煤期煤级分带** 包括晚古生代和中生代煤级分带。

**晚古生代煤级分带** ①华北地区。以太行山中南段两侧、沁水盆地南部、豫中与渭北的无烟煤和高煤级烟煤为中心, 煤级向四外逐步降低, 东到冀东、鲁西南, 南至淮南、平顶山, 北至晋北、内蒙古南部, 都出现中、低煤级烟煤或低煤级烟煤分布区。②西北地区。祁连山中部以中煤级煤为主, 新疆准噶尔盆地北部的富蕴与布伦托海一带为中、高煤级烟煤和无烟煤; 青海玛沁、果洛、杂多为石墨化无烟煤, 乌丽为晚二叠世无烟煤与高煤级烟煤。这些狭长的煤变质带多呈北西向或近东西向展布; 西北地区其它地点的古生代煤则以中、低煤级烟煤为主。③华南地区。发育在滇东、桂北、湘中、赣南的早石炭世煤及发育在鄂西与鄂东南的早二叠世煤, 均以高煤级烟煤和无烟煤为主。晚二叠世则有三个高煤级烟煤和无烟煤带, 一是北起川南、滇东北, 经黔西转向东南到桂西、桂中; 二是西起川东北, 向东经鄂西北到鄂东南转到皖南长江沿岸, 整个高煤级带呈舒展的反“S”形; 三是位于闽、粤、赣南、湘东南的北

东向无烟煤带。围绕这三个高煤级带及它们之间, 则以中煤级烟煤为主。西藏东部已知有类乌齐的早石炭世无烟煤和昌都、妥坝的晚二叠世高煤级烟煤。

**中生代煤级分带** 与古生代不同, 中生代含煤岩系大多发育在大大小小的盆地中。①华北地区。早、中侏罗世以低煤级烟煤为主, 分布在内蒙古大青山、石拐沟、鄂尔多斯, 山西大同、宁武与河南义马等地; 北京近郊, 山东坊子和宁夏汝箕沟则以无烟煤为主。②东北地区。发育了侏罗纪白垩纪含煤岩系, 大兴安岭西部, 即内蒙古扎赉诺尔、大雁、伊敏、霍林河、元宝山等地均为褐煤; 而在大兴安岭以东的内蒙古扎赉特旗、扎鲁特旗和吉林白城则为中、高煤级烟煤和无烟煤; 辽宁阜新、北票一带为低、中煤级烟煤; 黑龙江鹤岗、双鸭山、勃利、鸡西等地则以低、中煤级煤为主, 也有高变质煤; 吉林营城、蛟河、辽源等地以低煤级烟煤为主; 东北东部煤的变质程度多较西部高。③西北地区。早、中侏罗世含煤岩系分布广, 在新疆有几条近东西向的煤级分带, 准噶尔盆地北缘的和布克赛尔、福海一带, 准噶尔盆地南缘精河、乌鲁木齐一线, 吐鲁番、哈密一线和塔里木盆地南缘的叶城、和田一线, 均呈东西向展布, 为低煤级烟煤; 分布于天山内部的昭苏、新源到艾维尔沟一线, 塔里木盆地北缘的温宿、拜城、库车一线和帕米尔之北的乌恰, 则为中煤级烟煤。甘肃和青海境内有两条北西向展布的低煤级烟煤带: 北带位于肃北、门源、大通、窑街、阿干镇一线, 南带位于柴达木盆地边缘的冷湖、鱼卡、绿草山、大煤沟、诺木洪一线; 中变质烟煤则分布于青海的木里、兴海等地; 高变质烟煤较少, 仅见于青海江仓、热水一带; 无烟煤见于青海大柴旦、昆仑山口和甘肃的九条岭。④西南地区。西藏和云南以中生代煤的煤级较高。西藏安多土门格拉晚三叠世煤为中、高煤级, 昌都晚三叠世煤以中煤级为主; 拉萨附近早白垩世煤为无烟煤; 日喀则和昂仁一带晚白垩世煤为中煤级。云南中部祥云、宾川一带为无烟煤, 永胜为低煤级煤, 禄丰—平浪为中煤级煤。四川盆地的晚三叠世煤较发育, 川东华蓥山和永川、荣昌一带以中煤级煤为主, 川南叙永为高煤级烟煤和无烟煤, 川北广元、旺苍则低、中、高煤级兼有; 川西南攀枝花、会理等地以中煤级烟煤为主。⑤东南地区。湖北西部当阳、秭归、利川和湖北东南部中生代煤以低、中煤级煤为主, 也有高煤级煤。湘赣两省除湖南澄潭江、衡阳, 江西萍乡青山晚三叠世煤为无烟煤外, 大部分地区的煤以低、中煤级为主。广东北部罗家渡、南岭地区晚三叠世煤以低、中煤级煤为主, 曲仁、高要、广州、花县煤以中、高煤级为主, 英德—翁源、台山—恩平为无烟煤。福建中生代高变质无烟煤分布广泛, 邵武、建瓯、尤溪、大田等



地的煤有的已达高阶无烟煤阶段 ( $V_{ad}$  小于 2.3%,  $R_{o,max}$  大于 7%~8%), 仅漳平、泰宁还赋存有高煤级烟煤。

#### 参考书目

杨起等,《华北石炭二叠纪煤变质特征与地质因素探讨》,地质出版社,1988。

(杨 起)

zhongguo meitian dizhitu

### 中国煤田地质图 (coal geologic map of China)

反映中国煤田形成与分布的 1:200 万小比例尺矿产地质图,1980 年由煤炭工业部地质局与煤炭科学院地质勘探研究所编绘,煤炭工业部航测大队印制厂印刷。它依据 1975 年资料(部分 1978 年资料)编绘,通过图中地层、火成岩以及构造形迹等的分布特征,概略地反映了中国各地质时代地层发育、岩浆活动以及构造演化的地质发展历史;突出反映了含煤地层的分布以及它们与其它地质体、构造形迹的时、空关系;反映了中国各聚煤期、聚煤区的基本特征;反映了中国煤炭资源聚集与分布的规律。它是全国及区域性煤田预测、聚煤作用的基础,全国及地区煤炭工业战略规划和设计的依据。

**资料依据** 依据及参考的煤田地质资料包括:1:100 万东北、华北、华东、中南地区及云、贵、川各省煤田地质图;1:20 万至 1:50 万陕、甘、宁、青、新、藏等省(自治区)煤田地质图;1:20 万至 1:50 万各省区煤田预测图(1975);1:100 万各省(自治区、直辖市)地质图(国家计委地质局,1972);1:20 万中华人民共和国地质图、地质矿产图;1:50 万至 1:400 万全国、各大区,各省(自治区)构造体系图及构造纲要图,以及重点地区的大比例尺地质构造图,重要的地层、构造论著,重要的物探、钻探成果资料等。

**基本内容** 包括地理底图及煤田地质图两大部分。

**地理底图** 表示有主要河流、湖泊、海洋;山脉、山峰、山隘及其标高;中国首都、省、自治区、直辖市政府所在地,省辖市、地委驻地及部分县(旗)及县级以下主要居民点;宽轨铁路、边远地区干线公路;国界、省界等。

**煤田地质图** 表示有各地质时代地层特别是含煤地层、各地质时代火成岩类分布范围、各种地质界线及断层线等。其中,地质体图面最小宽度(线距)取 0.7mm、最小图面面积取 1mm。重要地质体图面最小宽度、最小面积不足上述数值时,酌情夸大表示,其它地质体则合并表示或删舍。

中国煤田地质图反映:

(1) 中国煤田形成的地质条件,震旦系、寒武系、志留系以及中下泥盆统赋存有由菌藻类水生低等生物形成的石煤;晚泥盆世开始了陆生高等植物成煤的历史。石炭纪、二叠纪、侏罗纪是中国主要聚煤期。三叠纪、白垩纪、第三纪时,也有煤炭形成。第四纪泥炭的成因也多种多样。

(2) 东北聚煤区,华北聚煤区,西北聚煤区,华南聚煤区,滇藏聚煤区和台湾聚煤区是中国六个聚煤区,其地质分界线为阴山—天山构造带、秦岭—昆仑构造带和贺兰山—六盘山—大雪山构造带。而且,这三条巨型构造带对中国地质发展史起了巨大的作用。①阴山—天山构造带以北,古生代海进来自北方。这里地壳活动性较强,沉降速度快、幅度大,沉积巨厚,岩相、厚度变化剧烈,沉积物以海相碎屑岩类为主,火山岩相当发育。华西力运动在这一地区影响普遍而强烈,使古生代岩层发生强烈褶皱和变质,侵入岩遍及全区。中生代早中侏罗世时,西部若干内陆盆地内形成主要的含煤岩系;东部火山岩极为发育,到晚侏罗世才形成若干煤盆地。②阴山—天山构造带与秦岭—昆仑构造带之间,除阿尔金山、祁连山山区之外,大部分地区古生代地壳运动比较和缓,岩浆活动微弱,区域变质作用十分局限,断裂大而稀疏,褶皱开阔平缓,在东部形成了石炭二叠纪含煤岩系。随着燕山运动的兴起,这一条带形成了几个大型中、新生代沉积盆地,早中侏罗世时,发育了含煤岩系。③秦岭—昆仑构造带以南,震旦纪后海进时间长,海相地层发育好,变质作用强烈。同时,中生代地壳活动性大,褶皱、断裂和岩浆活动特别剧烈,盆地数量多但规模小。东南沿海侏罗纪火山岩和燕山期花岗岩类特别发育。随着自北而南的不断海退,东部形成了晚古生代末期的海陆交替相含煤岩系,构成中国南方最主要的晚二叠世煤田,中生代含煤岩系只有零星分布;西部海水撤出较晚,古生代、中生代海相沉积十分发育,第三纪海相沉积也有分布,且有一些含煤岩系形成。

(高凌蔚)

Zhongguo meiyang tezhen

中国煤岩特征 (petrological characteristic of Chinese coal) 中国煤炭资源丰富,煤类齐全,煤岩特征突出。

**煤岩总体特征** 主要可概括为以下四个方面:

(1) 聚煤期多。由于不同地质时代成煤植物及聚煤环境不同,形成了各种成因类型的煤。①早古生代,在浅海环境下,广泛发育菌藻类低等植物,形成并演化成

腐泥无烟煤或石煤。②泥盆纪,在滨海环境下,裸蕨类及原始鳞木等高等植物繁衍,形成了典型的角质残植煤。③晚二叠世在潮坪环境下,由辉木、鳞木等植物的树皮体,富集成树皮残植煤,这种特殊类型的残植煤,仅见于中国。④白垩纪,松科、杉科等裸子植物大量繁殖,树脂体经搬运、聚积而形成树脂残植煤。⑤石炭纪、二叠纪、侏罗纪等主要聚煤期,则以腐植煤为主,也有腐泥煤、腐植腐泥煤等成因类型的煤。油页岩主要发育在石炭系、二叠系和早第三系。

(2)晚古生代一些形成于潮滩环境的煤层,在泥炭沼泽发育过程中经常受到海水浸漫,海相动物及其碎片带入沼泽,致使在煤层的钙质灰矸中,甚至在煤中,常含有丰富的有孔虫、棘皮动物、腕足类、瓣鳃类等多门类海相化石。

广西和贵州东部晚二叠世形成于局限碳酸盐台地潮滩的煤层,受海水影响更明显,保存有大量黄铁矿化的硫细菌和硫酸盐还原菌,成煤植物中有丰富的菌藻类低等植物参与,形成了世界上少见的特高有机硫煤。

(3)西北、华北一些形成于早、中侏罗世内陆泥炭沼泽的煤,惰质组含量高,使低、中煤级烟煤的粘结性降低或丧失,煤类以弱粘煤和不粘煤为主。

(4)一些晚古生代和中生代煤田,由于受中生代以来强烈构造和岩浆活动的影响,煤区域岩浆热变质作用强烈,无烟煤占很大比例。因而,在显微煤岩组成上,具各向异性组分发育,并常见热液成因矿物。

#### 各主要聚煤期煤岩特征

**晚石炭世早二叠世煤** 晚石炭世、早二叠世是中国重要的聚煤期,煤炭资源广泛分布于华北、西北及东北地区。煤类齐全,产量居各时代之首。其聚煤环境以广阔的滨海平原及三角洲平原为主,气候湿润,繁衍着茂密的森林沼泽,沼泽植被以石松纲鳞木类和裸子植物的科达类高大乔木植物为主,晚期种子蕨类植物渐占优势。

该聚煤期煤的成因类型以腐植煤为主。山西浑源、蒲县,山东新汶、滕州,江苏徐州等地也见有藻煤、炆煤发育。华北煤盆地北缘的山西河曲、保德等地的太原组,有形成于滨岸泥炭沼泽的角质煤薄层。显微组分以镜质组为主,惰质组次之,壳质组大多不超过10%,且以小孢子体为主,角质体次之。安徽淮南等地二叠纪煤中树皮体较多。

由于华北煤盆地具有北高南低的趋势,海水从东部或东南方向侵入,向西北方向超覆,因而泥炭沼泽的发展和显微煤岩组成呈南北分带的规律。盆地北缘的兴隆、大同北部、准格尔和西缘的石嘴山、韦州等地,太原组和山西组煤层以半暗煤、暗淡煤为主,煤中惰质

组含量常达40%以上,矿物含量高,以粘土为主,反映盆缘及泥炭沼泽潜水位较低。从盆地边缘向盆地内部,从北向南,太原组煤层有半亮煤、光亮煤、镜质组含量增高,而惰质组含量减低的趋势,在北部开平、宁武一带,镜质组含量为56%~60%,中部霍西、肥城、济宁一带为76%~85%,而南部徐州、平顶山一带达78%~89%。

在垂向上,太原组煤层中镜质组含量高,均质镜质体较多,薄壁角质体含量稍高,黄铁矿含量较高,反映成煤植物中木本植物较多,沼泽覆水程度和还原程度较强;山西组煤层中镜质组含量较低,基质镜质体较多,粗粒体、惰屑体和孢子体含量较高,黄铁矿含量低,反映沼泽水位较低,氧化作用较强;石盒子组煤层发育于南部淮南、淮北等地,煤中壳质组含量较高,常达10%以上。

**晚二叠世煤** 晚二叠世煤炭资源广泛分布在华南地区,中、高煤化烟煤和无烟煤发育。其聚煤环境以冲积平原、滨海三角洲平原、潮滩、潟湖环境为主,也有局限碳酸盐台地环境,气候温暖潮湿,成煤植物以鳞木、辉木为主,也有真蕨类植物和裸子植物。煤的成因类型以腐植煤为主,江西乐平、浙江长兴有树皮残植煤,贵州水城有炆藻煤。

晚二叠世煤显微组成的特点之一是,煤中树皮体普遍发育,成为壳质组的主体,江西、贵州、四川等地煤层的一些分层中树皮体富集,可达30%~40%,其聚煤环境大多与滨岸的三角洲平原或潮坪有关。在黔中、川南等地的无烟煤中,根据各向异性亦发现有相当数量的变树皮体。壳质组中有小孢子体、角质体、藻类体等。惰质组以氧化丝质体为主,粗粒体、惰屑体较多,常见微粒体和菌类体。惰质组含量与古陆关系密切,川滇古陆东侧、江南古陆西侧的冲积平原、上三角洲平原,煤中惰质组含量高达30%~40%以上。在低、中煤化烟煤中,镜质组含量大多在70%~75%以下,而在中、高煤化烟煤和无烟煤中,则常达80%~90%以上。

晚二叠世煤中黄铁矿含量较高,形态以微粒状、自形晶、莓粒状和团块状为主,常见有黄铁矿化菌藻类化石和黄铁矿化高等植物组织。在高煤级烟煤和无烟煤中,也有黄铜矿、闪锌矿、方铅矿等硫化物矿物。西南地区晚二叠世煤中石英含量较高,同生的石英自形晶普遍发育,常见金红石与粘土矿物共生,反映了源岩玄武岩的成分和地球化学特点。

**早中侏罗世煤** 早中侏罗世是中国另一重要聚煤期,煤炭资源主要分布在西北和华北一系列大、中型内陆盆地。煤的成因类型以腐植煤为主,在山西大同、陕

西黄陵和新疆吐哈等地,有烛煤和腐泥煤。煤级以低煤级烟煤为主。

中侏罗世煤大多形成于湖滨三角洲平原、冲积平原以及冲积扇前缘环境,具有惰质组含量高、壳质组含量低( $<3\% \sim 5\%$ )和矿物含量低的特点,是低灰、低硫、高挥发分的优质动力用煤。鄂尔多斯盆地厚煤层分布广泛,煤中常见大量凝胶化和丝炭化的裸子植物木质部和凝胶化的周皮组织,惰质组中以氧化丝质体为主,粗粒体较多,原始氧化的楔形裂隙发育,显微煤岩类型以微镜煤、微惰煤和微镜惰煤为主,除粘土矿物和石英外,普遍发育菱铁矿结核;成煤植物以松柏类、银杏类及真蕨类植物为主,反映泥炭沼泽具有淡水、弱覆水、水流活动性较强、介质为弱还原—弱氧化的特点。一般,形成于冲积平原、废弃三角洲杂叶体的煤层,其惰质组含量高达 $40\% \sim 50\%$ 以上,而形成于湖湾区或远离河道低洼地区的煤层,则其惰质组含量较低。山西大同大同组的煤层,新疆西山窑组的煤层,也有此特点。有些煤分层中,薄壁角质体镶边的叶角质体局部富集成“落叶层”。

新疆早侏罗世八道湾组煤层的镜质组含量最高,为 $84\% \sim 95\%$ 。

晚侏罗世早白垩世煤 主要分布在内蒙古东部和东北的一系列断陷盆地。煤的显微组成中以树脂体较多而区别于晚古生代煤和西北、华北的早中侏罗世煤。

内蒙古东部一大兴安岭西侧的煤盆地多,煤层巨厚,有海拉尔、霍林河、胜利等大型褐煤盆地。霍林河盆地形成于冲积扇前浅水湖盆聚煤环境的主采煤层,成煤植物以松柏类和银杏类为主,木质煤含量较高,显微组成中腐植组占 $90\%$ 以上,以腐木质体和碎屑腐植体为主,稳定组中以树脂体和薄壁角质体居多,也有木栓质体、孢子体和沥青质体,菌孢子、菌核和密丝组织等多种菌类体发育。煤中矿物较多,除粉砂级石英、粘土矿物、菱铁矿结核外,还有长石、黑云母。此外,也有岩屑、火山玻璃等,反映盆地近缘的特征。煤级为暗褐煤—亮褐煤。

黑龙江、吉林、辽宁的晚侏罗世早白垩世煤,以低、中煤级烟煤为主。东部,黑龙江的鸡西、双鸭山、鹤岗等地,煤中镜质组含量为 $60\% \sim 80\%$ ;西部,辽宁阜新、铁法和吉林营城等地,煤中镜质组含量高达 $70\% \sim 95\%$ 。在同一盆地内,下部煤层中的惰质组和矿物含量高于上部煤层。

早第三纪煤 主要分布在东北、华北一系列内陆断陷盆地,部分地区与指状海湾沟通。东部的小型断陷盆地有厚煤层发育。煤的成因类型以腐植煤为主,辽宁

抚顺、山东黄县、吉林桦甸等盆地出现腐植煤—腐植腐泥煤—腐泥煤—油页岩的连续沉积。煤类多为褐煤,辽宁抚顺等地,由于占地温较高而出现低煤级烟煤。煤的宏观类型以光亮煤和半亮煤为主,显微组成以富含镜质组(腐植组)、贫惰质组( $<5\%$ )和含树脂体较多为特色。抚顺煤田树脂体局部富集成“琥珀煤”,抚顺煤田的煤精主要由腐植腐泥基质组成,致密坚韧,为良好的工艺品材料。

华南地区早第三纪褐煤分布在广东茂名,广西百色、南宁,海南长昌等地。茂名、百色等地褐煤与油页岩共生。

晚第三纪煤 主要分布在云南上百个煤盆地。其中,小龙潭、昭通等煤田赋存有巨厚的褐煤煤层。昭通煤田褐煤的宏观煤岩类型以细屑煤、细屑木质煤为主,也有木质煤和矿化煤。显微组分中腐植组占 $90\%$ 以上。细屑煤主要由草本植物及阔叶类植物降解形成的细屑体以及由根、茎、叶所形成的腐木质体组成;木质煤则以由松、杉等针叶类植物木质部所形成的腐木质体为主组成。煤中可见植物细根及喜湿植物残体,表明其成煤植物复杂多样,堆积方式以原地为主,也有一定的异地成分参与。云南褐煤中发育多种菌类体;由于大多属低煤化的软褐煤,木质部细胞壁残留有相当数量的纤维素和木质素,在正交偏光下具各向异性;常见植物油所形成的萜烯体。云南褐煤蜡含量高的“白泡煤”中,富含矿物沥青质基质和孢粉体、壳屑体等稳定组分。

台湾中新统3个煤组均含海陆交互相薄煤层。

第四纪煤 分布在东北、云南等地,主要是泥炭,但在云南腾冲盆地由于异常的地热场,更新统已见软褐煤,昆明盆地更新统滇池组也有软褐煤和暗褐煤煤层发育。

(王廷斌 韩德馨 任德胎)

## zhongli huadong gouzao

**重力滑动构造** (gravitational gliding tectonics) 在重力作用下,岩体顺坡滑动和扩展所形成的构造组合。这种构造变动方式与物体沿斜面的滑动很相似。

重力滑动构造常见于板块边缘造山带和板块内部褶皱隆起带的外缘。欧洲阿尔卑斯山系分布着规模宏大的重力滑落推覆体,其滑移距离可达 $30\text{km}$ ;中国华北嵩山地区和华南褶皱带亦发育大型重力滑动构造。

重力滑动构造是研究较早的构造学说之一。19世纪已有关于重力滑动构造现象的描述(Reyer, 1888)。20世纪30年代重力构造理论相当流行,提出了重力

构造的形成机制和分类 (Haarmann, 1930; Ramberg, 1945)。60 年代以来, 海洋和大陆地球物理勘探成果进一步证实了重力滑动构造的广泛性, 并将其纳入了全球板块构造模式。中国地质学家在嵩山地区变质岩重力滑动构造研究 (马杏垣, 1975, 1980) 的基础上, 近年来在一些煤田中又陆续发现了一些不同类型的重力滑动构造, 并在一些滑体之下, 发现了具有工业价值的煤炭资源。

**结构要素** 包括下伏系统、润滑层、滑脱面和滑动系统 (图 1)。

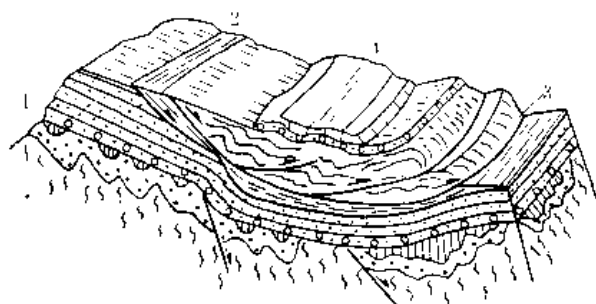


图 1 重力滑动构造的结构要素

1—下伏系统; 2—润滑层; 3—滑脱面; 4—滑动系统

**下伏系统** 位于主滑脱面之下的岩体。它在滑动过程中起着基盘的作用。

**润滑层** 亦称滑脱层, 下伏系统与滑动系统之间的相对软弱岩层。它在滑动过程中起着降低阻力和润滑作用。

**滑脱面** 在重力影响下, 滑动系统沿其脱顶拆离和滑动的破裂面, 常常表现为脱顶剪切带。

**滑动系统** 滑脱面之上脱顶滑动的岩体构造系统。其内部发育一系列次级滑面或褶皱, 是包含不同序次和级别的滑体、滑块和滑片的统一体。

**构造样式** 各种构造环境都可以造成重力不稳, 并形成不同的重力滑动构造样式, 一般可区分为滑片型和滑褶型。

**滑片型** 滑动系统沿缓倾角正断层断层面滑动, 滑体被次级断层所切割。拉伸正断层发育在根带, 而冲断层和褶皱则只出现于前缘挤压区。这种构造组合以脆性形变为主, 常见于伸展构造

环境和造山期后形成的滑体 (图 2a)。

**滑褶型** 滑动与褶皱形变同时发生, 根部出现叠褶或反褶, 中部褶皱宽展, 前缘褶皱紧闭, 并伴有冲断层, 褶皱强度消失在主滑脱面上。这种构造组合常见于与挤压作用同期的滑落推覆体。

**鉴别标志** 重力滑动构造与推覆构造具有某种成因联系, 通常以两者间构造背景、构造配置和构造特征的不同而加以鉴别。

**构造背景** 重力滑动构造主要在伸展体制下形成, 地壳抬升所形成的斜坡和软弱层、不连续地质界面的存在, 是其基本控制因素。

**构造配置** 重力滑动构造的根带为拉张区, 以正断层或下滑褶皱为特征; 前缘为挤压区, 发育冲断层或挤压褶皱; 中部为剪切过渡区, 以顺层滑移或宽缓褶皱为特征。

**构造特征** 重力滑动构造以低角度正断层为主, 滑移轨迹有交叉现象, 滑体呈弧形分布, 无一定主体方向。有时出现倒序堆叠, 或丧失地层横向连续性。上、下盘构造形态不协调, 滑动系统构造复杂, 叠褶发育, 倒转翼保存完好, 主滑面附近常伴生指向构造。

**煤田重力滑动构造** 中国东部煤田中发育的重力滑动构造, 有的与断块翘升过程有关, 有的与推覆构造相交织而形成一种特殊的推-滑复合构造。在一些滑体或滑片之下已发现了保存较好的煤炭资源。中国华北含煤区豫西滑动构造群中的芦店重力滑动构造 (图 3), 其滑动系统是大面积出露的下三叠统  $T_1$  和二叠系  $P_2^1$ 、 $P_2^2$ 、 $P_2^3+P_2^4$  地层, 面积约 264km<sup>2</sup>, 呈宽缓背斜。

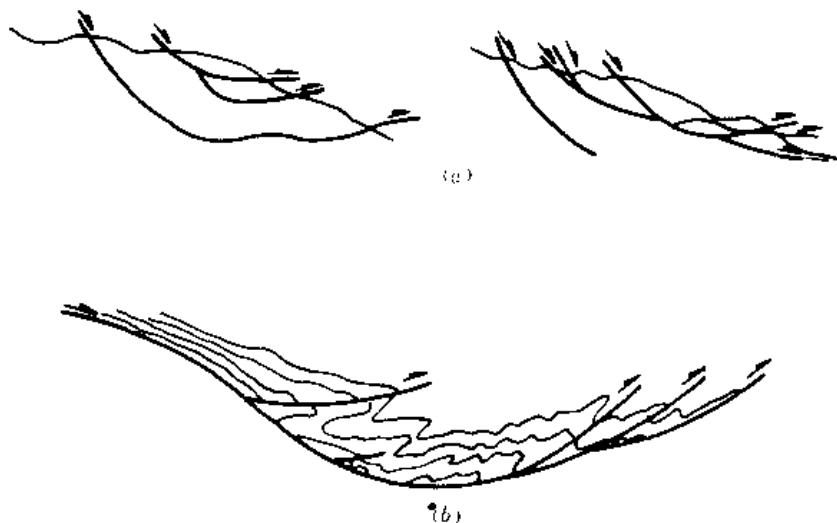


图 2 重力滑动构造样式

a—滑片型; b—滑褶型

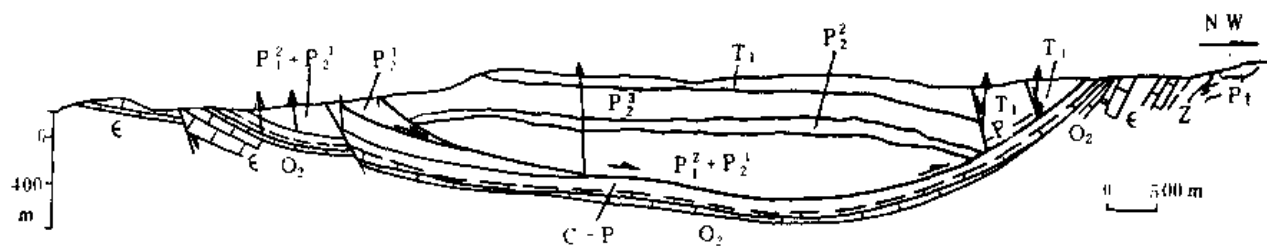


图3 中国华北含煤区豫西芦店重力滑动构造剖面图

下二叠统山西组煤层构成滑脱层。下伏系统是一个向西南倾伏的向斜构造。滑体南部边缘的挤压和引张构造共存的现象,一般认为是两次重力滑动作用的结果。重力滑动构造作用使上覆地层缺失减薄,主煤层埋藏变浅。

地壳演化的不同阶段、不同构造环境都有重力滑动作用发生,同时重力滑动亦与重力扩展,即岩层发生屈服流动密切相关,其发育机制十分复杂,可以形成多种多样的重力滑动构造。

#### 参考书目

M. 马托埃,《地壳变形》,孙坦、张道安译,地质出版社,1984。

索书田,《构造解析》,武汉地质学院出版社,1987。

(任文忠)

### Zhuluo Baileji hanmeidiceng

**侏罗白垩纪含煤地层** (Creto-Jurassic coal-bearing stratum)

中国东北部最主要的一套含煤地层。在大兴安岭以西,以富含巨厚褐煤层著名;在黑龙江省东部则盛产炼焦煤。该含煤地层由陆相或海陆交替相碎屑岩及火山熔岩、火山碎屑岩及煤层组成,岩性、厚度及含煤性各地差异甚大,其地质年代尚有较大争议,但不会超出晚侏罗世至早白垩世时限,距今约137Ma左右。

**地层特征** 中国境内侏罗白垩纪含煤地层具代表性的地方名称及其对比关系如表1所示。根据岩石沉积类型,分为陆相和海陆交替相两类含煤地层。

**陆相含煤地层** 下部以火山岩类为主,夹沉积岩;上部则以正常碎屑沉积岩为主,夹火山岩。

(1) 下部。以中性火山岩为主,包括中基性、中酸性和酸性的一套火山熔岩及火山碎屑岩,间夹正常碎屑岩或正常碎屑—火山碎屑岩沉积夹层;厚度变化极大,一般超出2000m,但在部分地区缺失。在大兴安岭及其西坡地区,该地层称兴安岭群,分布广泛,常成为一些侏罗白垩纪聚煤盆地的基底;在呼盟东北部的

甘河流域一带,该群中部的九峰山组还夹可采煤层。这套火山岩组一般不整合覆盖于中晚侏罗世红层之上,有时超覆在更老地层甚至变质岩系之上。

(2) 上部。各种粒级的一套碎屑岩组,以角砾岩、砾岩和粗砂岩等粗碎屑岩居多,粉砂岩、泥岩较少,夹有煤层、油页岩等。该地层中一般还夹有火山熔岩及火山碎屑岩,以中酸性为主,在部分地区火山岩相当发育。其厚度由数百米至千余米不等,在一些地区为一个含煤组(霍林河组、巴彦花群);在另一些地区则可分为上、下两个含煤组(伊敏组和大磨拐河组、阜新组和九佛堂组)。其含煤性在大兴安岭以西较好;而以东的吉林、辽宁以及西部的内蒙古固阳、甘肃南部等地区则较差。在吉林桦甸等地,该地层中还产出油页岩多层,岩石的色调以灰黑色为主,但到西部的固阳及甘肃南部以及辽宁东部、吉林南部,却都夹有红色岩层;由冀北向南越过燕山到北京一带,则全部变为红层。该地层普遍被早中白垩世红层假整合覆盖。

**海陆交替相含煤地层** 分布于黑龙江省东部鸡西—双鸭山一带及其以东的完达山区和三江平原区,向西南可以延伸到长春附近。在鸡西、勃利、双鸭山地区,该含煤地层统称鸡西群。它分上、下两部,下部称滴道组,由中性火山熔岩、火山碎屑岩及正常碎屑岩组成,以陆相为主,岩性及厚度变化大,厚400~680m,偶夹薄煤层;上部称城子河组和穆棱组,系陆相夹少量海相的碎屑岩组,均产可采煤层,厚1000~3000m。在密山、虎林一带,该地层相当于当地龙爪沟群的中、下部。其靠下的云山组则是海陆交替相碎屑岩组;靠上的珠山组基本属陆相碎屑岩组,两组总厚约3000m,岩性厚度均较稳定,都产出可采煤层。鹤岗地区缺少下部的火山岩组,而发育两套陆相碎屑岩含煤组,其岩性、厚度稳定,属于海陆交替相近海型含煤沉积的边缘部分。

**古生物特征** 侏罗白垩纪含煤地层中产出丰富的植物化石及门类众多的陆生动物和海生动物化石。

**植物** 主要类别有松柏类、银杏类及苏铁类(参见彩图插页第30页)。蕨类还相当繁盛。真蕨以 *Acan-*

表 1 中国侏罗白垩纪含煤地层对比表

| 甘肃           | 内 蒙 古        |                   |                   |        | 河 北       | 辽 宁          |           |          | 吉 林         |           |          |           | 黑 龙 江     |          |        |        |          |          |
|--------------|--------------|-------------------|-------------------|--------|-----------|--------------|-----------|----------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|--------|--------|----------|----------|
| 成徽<br>县县     | 固<br>阳       | 锡<br>盟            | 哲<br>盟            | 呼<br>盟 | 万<br>全    | 卓<br>新       | 铁<br>法    | 新恒<br>宾仁 | 西辽<br>丰源    | 柳浑<br>河江  | 农九<br>安台 | 蛟<br>河    | 利延<br>龙吉  | 勃<br>利   | 鸡<br>西 | 鹤<br>岗 | 密<br>山   | 虎<br>林   |
| 化°<br>垭<br>群 | 固°<br>阳<br>群 | 巴^<br>彥<br>花<br>群 | 霍△<br>林<br>河<br>组 | 伊敏组    | 青°<br>石砬组 | 阜△<br>新<br>组 | 九°<br>佛堂组 | 新宾组      | 长<br>安<br>组 | 亨°<br>通山组 | 营°<br>城组 | 乌°<br>林组  | 长°<br>财组  | 穆△<br>核组 | 石头庙子组  | 石头河子组  | 珠△<br>山组 | 云°<br>山组 |
|              |              |                   |                   | 扎赉诺尔群  |           |              |           |          |             | 南店组       | 下桦子皮组甸   | 沙°<br>河子组 | 奶°<br>子山组 |          |        |        |          |          |
|              |              | 兴安岭群              | 兴安岭群              | 兴安岭群   | 平群        | 河群           | 义县组       | 梨树沟组     | 安民组         | 包大桥组      |          |           | 金岭沟组      |          |        |        |          |          |
|              |              |                   | 兴安岭群              | 兴安岭群   | 九峰山组      | 西瓜园组         | 小岭组       |          |             |           |          |           |           |          |        |        |          |          |
|              |              |                   |                   | 龙江组    | 大北沟组      |              |           |          |             |           |          |           |           |          |        |        |          |          |

△ 主要含煤组；° 次要含煤组。

*thopteris*, *Cladophlebis*, *Onychiopsis*, *Coniopteris*, *Ruffordia* 等属最为常见。其中, *Coniopteris* 属以含 *burejensis* 等种而可与早中侏罗世该属分子相区别; 而 *Cladophlebis* 属多半为早中侏罗世种的延续。松柏类常见的有 *Elatocladus*, *Pityophyllum* 等属。苏铁类以 *Nilssonina* 属居多, 银杏类以 *Ginkgoites* 属为代表, 有节类则是中生代普遍发育的 *Equisetites* 属。根据对地层中木化石的研究结果, 在伊敏组发现了 *Piceoxylon-Protoglyptostroboxylon* 组合, 在霍林河组发现了 *Phyllocladoxylon eboraense-Xenoxylon peideense* 组合, 证实了前者地层时代晚于后者。

拟金粉蕨—鲁福特蕨植物群普遍存在于侏罗白垩纪含煤地层, 以 *Onychiopsis* (拟金粉蕨) 和 *Ruffordia* (鲁福德蕨) 为代表, 主要分子有: *Acanthopteris gothani*, *A. onychioides*, *Onychiopsis elongata*, *Co-*

*niopteris burejensis*, *C. saportana*, *Ruffordia goepperti*, *Nilssonina sinensis*, *Ginkgoites sibiricus*, *Elatocladus dongbeiensis*, *Pityophyllum longifolium* 等。该植物群代表了温暖潮湿的气候环境, 在中国东北部广泛繁衍, 是形成侏罗白垩纪煤的主要原始质料。但对其时代归属尚有晚侏罗世、早白垩世等不同意见, 在植物群内部也难以进一步划分出不同时、区的亚组合。

陆生动物 有双壳类、腹足类、叶肢介、介形虫、昆虫、鱼类、蟹虾类、爬行类等, 产出于侏罗白垩纪含煤地层不同地区的不同层位。双壳类以蚌类为主, 常见的有 *Sphaerium*, *Ferganoconcha*, *Nakamuranaia*, *Unio*, *Margaritifera*, *Trigonioides*, *Plicatounio*, *Nippononaia* 等, 还有 *Corbicula* 等蚶类。腹足类常见分子有: *Probaicalia*, *Viviparus*, *Bellamya*, *Amnicola* 等属。叶肢介以 *Eosestheria*, *Diestheria*, *Yenjiestheria* 最为常



见,但各地产出的种、属分子不太相同。介形虫以 *Cypridea* 属最多。昆虫以 *Ephemeroptera trisetalis* 发现最多,蜉蝣、蝶、蚊等分子也不少。鱼类以 *Lycoptera* 属为主,层位分布广,在义县组发现 *Peipiaosteus*, *Sinamia*; 在亨通山组发现 *Kuntulunia*; 在固阳群发现 *Kuyangichthys*。蟹虾类有 *Astracus* 等。爬行类以恐龙为主,义县组还有龟鳖 *Yabeinosaurus*, *Manchurichelys* 等; 九佛堂组有 *Psittacosaurus*, *Sauropoda*, *Rhynchosaurus* 等; 阜新组有 *Endotherium* 等。

热河动物群, 又称 *Lycoptera-Eosestheria-Ephemeroptera* 动物群, 主要指赋存于冀辽地区滦平群和热河群中的陆生动物群, 以狼鳍鱼、东方叶肢介、拟蜉蝣为代表, 包括鱼、叶肢介、昆虫、双壳、介形、腹足、爬行等门类。其中, 以九佛堂组中的分子最为丰富。它是生存于内陆盆地湖泊及滨湖地带的古动物群落。其部分分子在吉林、内蒙古也有所发现; 少量腹足、双壳类在黑龙江省城子河组和穆棱组中亦有所发现。尽管该动物群的时代尚未取得一致意见, 然而将其与拟金粉蕨—鲁福德蕨植物群一起来确定侏罗白垩纪含煤地层的层位, 仍很有价值。一般认为, 浙江的侏罗或白垩系寿昌组产出的 *Mesoclupea* (中鲛鱼), 与东北、华北的 *Lycoptera* (狼鳍鱼) 是同时代的。

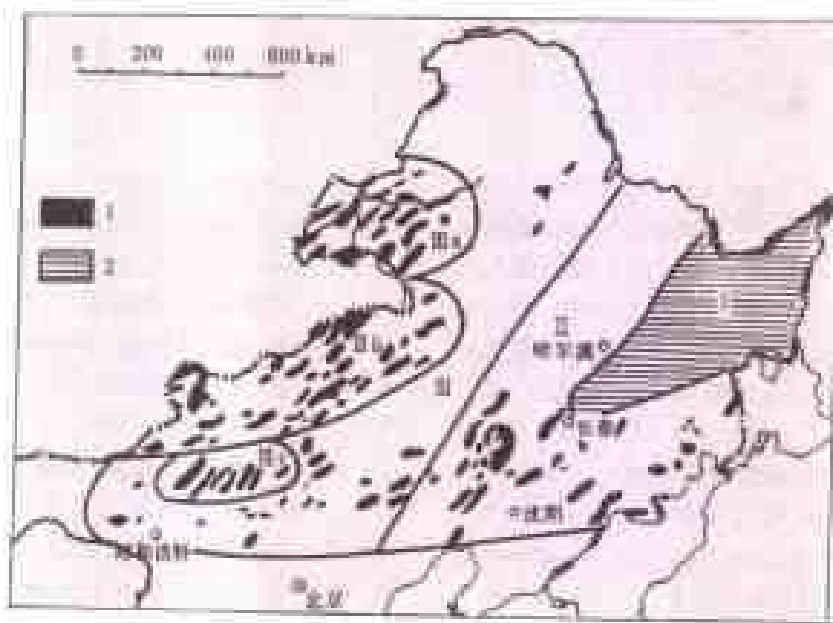
海生动物 以双壳、腹足、腕足类等软体动物为主, 产出于黑龙江省东部云山组、城子河组及穆棱组的

海相层内。常见的双壳类有: *Mytilus*, *Aguilerella*, *Sinopsammobia*, *Filosina* 等属, 属种及个体数量都很丰富, 系北方—太平洋生物区系分子。腹足类个体数量多, 但属种单调, 以蟹守螺类为多, 主要有 *Promathilda*, *Paracerithium* 属, 生活于潮间、河口及浅海地带。腕足类数量亦多, 但仅见有小嘴贝类的 *Thurmannella* 及 *Belbekella* 两属, 产于云山组上部。

形成条件 包括古地理、古气候等。

古地理 中国东北侏罗白垩纪含煤地层, 明显地形成于两类不同的古地理环境。一类是近海—滨海环境, 当时, 从吉林长春附近起始, 向东北方进入黑龙江省, 经三江平原、完达山区出境到俄罗斯, 是一个向东北方倾斜、开口的海盆边缘。大致以黑龙江鸡西为界, 向西南属于陆地的后滨地带, 向东北则属于近滨及前滨地带。这一环境的古构造活动较弱, 沉积条件相对比较稳定。另一类是内陆盆地环境, 除上述地区外, 均属此类, 盆地一般形成于燕山期拉分型断裂, 盆地一侧或两侧存在着同沉积断裂, 盆地充填的碎屑岩均源于盆缘断裂外侧。单一盆地都是独立的沉积单元, 时空上存在山坡→山麓→平原→河→湖的演变, 沉积物相变剧烈, 每一特定沉积层(如煤、湖相泥岩)都限定于一定的层位和地段。由于古构造条件的地区差异, 不同盆地其侏罗白垩系的发育状况不尽一致。

古气候 中国整个东、北部地区, 在侏罗纪、白垩



中国东北部侏罗白垩纪含煤地层分布略图

1—陆相; 2—海陆交替相; 1—黑龙江东部区; 1—辽、吉、冀北区; 1—内蒙古中东部区;

1a 呼伦贝尔盆地群, 1b 巴彦胡硕盆地群, 1c 多伦盆地群



纪时,总体呈现出干燥、炎热的气候,仅在早中侏罗世及侏罗纪、白垩纪之间,两度出现过潮湿温暖的气候。侏罗纪、白垩纪间潮湿温暖气候的分布范围也很有限,其南界在吉林浑江—河北张家口—线,西界大致在内蒙古固阳附近,而其以南、以西,在中国境内则基本上全为干燥气候所控制。在甘肃南部的西秦岭,由于地形复杂造成的小气候,也形成过山间盆地内的小范围潮湿环境。

**分布** 按侏罗白垩纪含煤地层赋存的具体地质型式,可将它的分布划分黑龙江东部,辽、吉、冀北,内蒙古中、东部(上页图)和甘肃南部四个区。

**黑龙江东部区** 即海陆交替相含煤地层分布区。其原始沉积范围大,且连续成片(上页图),经后期构造变动,主要以断块形式保存于鸡西—双鸭山以东地区。该区一般含煤层数十层,以中厚至薄层状为多,稳定性好,产出中至低灰,中至低硫,炼焦用煤,煤质尚可。区内主要煤田有:鸡西、鹤岗、双鸭山、勃利、集贤、双桦、宝清—密山等。

**辽、吉、冀、北区** 其南界即为吉林浑江—河北张家口—线,不包括辽东半岛。含煤地层赋存于一些小型中生代内陆盆地中,受后期构造和火山岩覆盖影响,分布面积一般仅十到数百平方公里。一般含煤层数层到十余层,以中厚至厚煤层为多,但稳定性差,厚煤层展布范围不大,煤种以低变质烟煤为主。主要煤田有:阜新、浑江、辽源、蛟河、和龙、汪清等。

**内蒙古中东部区** 包括包头市以东的内蒙古六个盟,西部止于固阳。含煤地层赋存于大兴安岭以西的百余个小型内陆盆地中,盆地具明显方向性,长轴一般为北东—北北东向。除少数呈散者外,有三个集中分布的盆地群,即:位于呼盟的呼伦贝尔盆地群,位于锡盟、哲盟的巴彥胡硕盆地群和位于乌盟的多伦盆地群。区内含煤地层受后期构造破坏程度较轻,一般含煤层数十层,以中至厚层状为主,最厚可达239.15m(锡盟阿巴哈纳尔旗的胜利煤田),但亦有相当多的盆地无含煤地层,有些盆地则缺失煤层。盆地中的富煤带主要位于古地理的河流—山麓地带。区内煤种基本上为褐煤。区内重要的煤田有伊敏河、扎赉诺尔、陈旗、大雁、牙克石、拉布达林、免渡河、霍林河、巴彥花、胜利、元宝山、平庄、西乌旗、阿拉坦合力、黑城子、青石砬等。

**甘肃南部区** 小片分布于徽县、成县等地,产出不稳定薄煤层,常呈瓜藤状,最厚处可达20m,煤种为低变质烟煤。

中国东北部侏罗白垩纪含煤地层向东、向北延伸出国境,在俄罗斯远东及西伯利亚、蒙古东部也形成了一些重要的煤田,包括俄罗斯的勒拿(ленский)、南雅

库特(южно-якутский)、布列雅(Бурейский)等煤田和蒙古的纳来哈、巴格—诺尔、吕德甘塔尔等煤田。

(梅美棠 王煦曾)

zhujiang dushui

**注浆堵水** (grouting for water-blocking)

通过钻孔向有含水裂隙、空洞的地下岩层注入水泥浆或其它浆液,封堵地下水的防治水措施(见**矿井建设**设注浆技术、注浆材料、注浆设备)。

(吕代铭)

zhuanmen shuiwen dizhi kantan

**专门水文地质勘探** (special hydrogeologic exploration)

在水文地质条件尚未查清或经常性水文地质工作不能满足生产要求以及复杂型和极复杂型大水井田或矿区,为解决影响矿井安全和经济效益的关键性水文地质问题而开展的水文地质勘探工作。它在下列情况下进行:

(1) 按精查阶段要求的工程量进行水文地质工作后,所获得资料仍不能满足矿井(露天)初步设计需要的井(矿)田。

(2) 各井田之间水力联系密切,单就一个井田难以查明水文地质条件,需要在矿区或几个井田范围内进行水文地质工作的矿区。

(3) 由于历史原因,煤炭资源勘探已经结束,但尚遗留有重大水文地质问题,影响矿井的正常、安全生产或开拓延深的水文地质条件复杂或极复杂的大水矿区。

专门水文地质勘探既可在煤炭资源勘探的详查阶段以后进行,也可在精查阶段后期或精查阶段以后进行。

专门水文地质勘探的主要任务是,从水文地质角度论证煤矿床开采在经济技术上的可行性,为矿井初步设计提供依据。在详查阶段进行专门水文地质勘探,要据其成果论证矿区(井田)继而进行精查勘探的可行性。专门水文地质勘探,着重研究评定矿床充水程度;评价地下水与地表水对煤矿采掘的可能影响,并分析防止这些影响可能采用的方法;有针对性地估计矿井水的综合利用方法;预测矿区地下水排供结合的可能性,有针对性地研究水文地质环境保护等问题。上述研究中,关键是要较准确地预测矿井(坑)涌水量及其变化趋势。

专门水文地质勘探包括立项、编制设计、施工和提交报告等工作阶段。首先通过系统搜集、分析勘探区内

各种有关资料,包括区内或邻近生产矿井的有关资料,确定项目。然后,在此基础上编制勘探设计,根据勘探区具体条件和矿山开发的实际需要,合理地确定工作程度,并征求设计和生产单位的意见,使勘探工作重点突出,经济技术措施合理。

专门水文地质勘探施工要充分利用煤田地质勘探的各类钻孔,专门水文地质钻孔也要尽量兼顾地质目的。应选择部分详查、精查阶段的钻孔,作为专门水文地质勘探的动态观测孔。

专门水文地质勘探的工作范围,通常包括一个完整的水文地质单元。在研究地质和区域水文地质条件的基础上,尽量结合煤矿的开拓方案,把含水层的富水性、补给条件及向矿井(坑)充水的途径、范围,视为一个整体进行勘探和研究。

专门水文地质勘探一般综合运用钻孔简易水文地质观测、遥感、水文地质测绘、生产矿井调查、抽水试验、长期观测与采样、物探和其它有效手段实行综合勘探,并特别重视钻孔和泉的水位、水量及水质长期观测工作,建立长期观测网,配合其它手段,控制自然流场特征。大流量、大降深抽水,是专门水文地质勘探最重要的手段,对查明矿床水文地质条件、确定含水层富水性、圈定地下水的强径流带、揭示各含水层间的水力联系、查明含水层的边界条件起重要作用。大流量抽水应配备有相应的观测网,其观测孔的布置应能控制抽水流场的主要特征和主要来水方向。增大抽水降深,通常能满足预测煤矿开采时地下水流场的需要,能用以估计疏干的可能性与效果。大流量抽水主孔孔位的选择,关系到勘探效果的优劣,要通过分析区内大量各类勘探钻孔的简易水文资料、地面物探成果和动态观测资料,将其布置在含水层的强富水地段。矿床涌水量计算,一般采用数值法,在专门水文地质勘探工程布置时,要兼顾数值法计算的需要。数值法既可利用长期观测资料,也可利用大流量抽水资料,必要时二者可分别计算,并互相验证。

专门水文地质勘探施工前,一些重要工程还要做单项或单孔的施工设计。施工中应及时分析有关资料,并及时、合理地调整和修改设计。

专门水文地质勘探结束,提交专门水文地质报告。其内容要具有科学性、实用性和针对性,重点阐述和评价影响煤矿正常、安全开采和经济效益的主要水文地质问题。

(高洪烈)

zhuopan shi zuanji

转盘式钻机 (rotary drill) 回转式钻机的一

种,其回转器外形如低矮的圆柱体,称转盘。其主要机构除转盘外,还有离合器、变速箱、传动箱、升降机等部件,在总体布置上变化较大。一般来说,轻型转盘式钻机结构较紧凑,往往几个部件紧密联结在一起;重型转盘式钻机结构较分散,各部件间距较大,通过三角胶带、链条或万向轴传动。

**给进方式** 重型转盘式钻机钻具重量较大,所钻岩层通常又较软,大部分时间内钻具重量都超过所要求的孔底压力,须减压钻进,因而不设专门的给进机构,而采用主动钻进方式,即调节升降机制动抱闸的制动力,通过钢丝绳在钻杆上产生一定的拉力,平衡掉一部分钻具重量,使孔底压力维持在所要求的范围内,一次给进行程可达数米,给进速度快。这种给进方式在开孔即遇基岩时钻进困难。为此,在岩心转盘钻机上常设给进机构,以利浅孔段加压钻进。给进机构的型式较多,如手动钢丝绳(或链条)给进,液压给进,油缸链条(或钢丝绳)给进、液压马达链条给进等。

#### 转盘的结构特点

(1) 设有补心或回转梁。转盘上端为输出动力的转台,通过中间的补心或架在上面的回转梁,带动方钻杆回转钻进。用补心易于将方钻杆与转盘中心对正,使回转平稳。但补心较重,靠人工提放劳动强度较大。回转梁套在方钻杆上,可用升降机提放,操作省力,但其对中性不如补心。

(2) 转台定位方式。分为心管定位和壳体定位两种。心管定位式是转台支承在转盘中央固定不动的心管上,这种转盘的外形尺寸和承载能力较小,转速可较高,适用于岩心钻探和工程地质钻探;壳体定位式转台支承在转盘壳体上,可承受较大的载荷,转盘通孔较大,但转速较低,适用于大口径的重型钻机。

(3) 传动方式。分为一级传动和两级传动两种。一级传动的转盘只有一对圆锥齿轮(极个别用蜗轮蜗杆),零件少,轴承润滑条件好,使用寿命长,但主轴承间距小,受力情况不好;采用两级传动时,高速级用圆锥齿轮,低速级用圆柱齿轮,这种转盘的加工难度小,主轴承间距大,受力情况得到改善,但结构复杂,上部轴承需强制润滑。前者多用于轻型转盘,后者多用于重型转盘。

(4) 安装方式。大部分转盘都固定在钻机底座上,与钻孔的对中性好,但其通孔直径必须大于钻进的最大钻孔直径。随着通孔直径的加大,转盘的外形尺寸和重量也要增大。当钻孔直径在500mm以上时,常采用开合或后移方式使转盘在必要时能方便地让开孔口。有些车装转盘钻机虽然在工作时并不要求转盘移动,但为运输方便,转盘也制成可移动的。

(5)主要参数。岩心钻机和工程地质钻机的转盘通孔直径一般为150~160mm;水井和工程施工钻机的转盘通孔直径一般为400~500mm。转盘在升降钻具时要支承钻具和拧卸钻杆,要求其有适当的正、反转速度和足够的扭矩。在各类钻机中,转盘式钻机的回转速度最低。岩心钻机的转盘转速一般在400r/min以下;其它钻机的转盘转速一般不超过200r/min;大口径工程钻机的转盘转速最低,一般不超过60r/min。轻型转盘的扭矩可达5kNm;重型转盘的扭矩在10kNm以上,最大可达60kNm。

**优缺点** 转盘式钻机的优点是扭矩大,给进行程长,给进速度高,不增加附属设备即能机械拧卸钻杆,适于钻进直径和深度很大的钻孔。其缺点是,①转盘位置低,无法在其下面加接套管,不便进行跟管钻进;②方钻杆一般只在回转梁或补心处有一个导向点,回转稳定性差,容易引起孔斜;③加接钻杆时,必须把方钻杆提出钻孔卸下,加接完毕再接上,既增加了辅助时间,又易引起松散岩(土)层孔壁坍塌;④转台与壳体之间一般都采用迷宫密封结构,不能有效地防止润滑油外泄和泥浆窜入,并使转盘式钻机只适宜钻凿垂直孔或顶角很小的斜孔。

**发展趋势** 转盘式钻机一直是石油和天然气钻探的主要设备,这种状况还会延续下去。中国从20世纪60年代中期到70年代中期曾在岩心钻探上推广轻型转盘式钻机。此后,由于高转速金刚石钻进和绳索取心钻进等新技术的推广,使这种钻机被高转速、大通孔的立轴式钻机所替代。虽然也研制出了用于小口径金刚石钻进的高速转盘式钻机,但应用极少。在水井和工程施工中,由于钻孔直径大,且多数在松散岩(土)层中全面钻进,使主动给进的转盘式钻机应用仍很普遍。但是,转盘式钻机的固有缺点限制了它的进一步发展。近些年,在一定范围内已出现被大功率多功能动力头式钻机取代的趋势。

(胡少韵)

## zongcai dizhi tiaojian pingjia

**综采地质条件评价** (geologic condition evaluation of fully-mechanized coal mining technology) 根据综合机械化采煤工艺(简称综采)要求与设备技术性能,对煤层开采地质条件进行的综采适应性分析与预测的一项基础性工作。

综采机械设备特别是液压支架,均按一定的地质条件设计制造,只有在相应的地质条件下使用,才能发挥其优势,获得应有的高效率和高效益。否则,不仅其效率、效益难以保证,而且当其与地质条件不相匹配时,还可能导致减产、停产、工作面被迫中途搬家等后果。

矿井在进行煤层开采规划设计时,对煤层赋存状况,地质构造复杂程度,煤层顶、底板岩石力学稳定性,矿井涌水和瓦斯赋存状况等进行分析研究,阐明这些地质条件对综采的影响、利害关系,并据以确定适于综采的地质块段,精确计算可供综采煤层的煤炭储量,为正确选择综采场地、合理划分综采采区和综采工作面及综采设备选型特别是液压支架选型提供地质依据。其中,煤层厚度及其稳定性评价和地质构造复杂程度评价是综采地质条件评价中最重要、最基本的内容。根据实际情况和需要,既可进行单项内容的评价,也可进行综合性评价。评价方法有:地质学方法、数学分析评判方法和图形数据处理方法等。其中,地质学方法是各类评价方法的基础。

**煤层厚度稳定性评价** 煤层厚度稳定性是选择开采场地,确定开采方式,影响综采机组采煤效率最基本的地质条件之一。根据已掌握的煤层厚度及其变化幅度,就能在图上圈出适宜不同架型的综采场地。进行这一评价的一般步骤是:

(1)综合分析煤层厚度资料,编制煤层厚度等值线图,即煤层等厚线图。

(2)定量评定煤层厚度的稳定性。煤层厚度稳定性

表1 评价煤层稳定性的主、辅指标

| 分煤层    | 稳定煤层               |                    | 较稳定煤层                     |                           | 不稳定煤层                     |                           | 极不稳定煤层          |                 |
|--------|--------------------|--------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------|-----------------|
|        | 主要指标               | 辅助指标               | 主要指标                      | 辅助指标                      | 主要指标                      | 辅助指标                      | 主要指标            | 辅助指标            |
| 薄煤层    | $K_m \geq 0.95$    | $\gamma \leq 25\%$ | $0.95 \geq K_m \geq 0.8$  | $25\% < \gamma \leq 35\%$ | $0.8 > K_m \geq 0.6$      | $35\% < \gamma \leq 55\%$ | $K_m < 0.6$     | $\gamma > 55\%$ |
| 厚和中厚煤层 | $\gamma \leq 25\%$ | $K_m \geq 0.95$    | $25\% < \gamma \leq 40\%$ | $0.95 > K_m \geq 0.8$     | $40\% < \gamma \leq 65\%$ | $0.8 > K_m \geq 0.65$     | $\gamma > 65\%$ | $K_m < 0.65$    |
| 特厚煤层   | $\gamma \leq 30\%$ | $K_m \geq 0.95$    | $30\% < \gamma \leq 50\%$ | $0.95 > K_m \geq 0.85$    | $50\% < \gamma \leq 75\%$ | $0.85 > K_m \geq 0.7$     | $\gamma > 75\%$ | $K_m < 0.70$    |

是指煤层厚度变化程度和可采程度的总和。《矿井地质规程》规定,在定量评定煤层厚度稳定性时,薄煤层以煤厚可采性指数  $K_m$  为主要指标,以煤厚变异系数  $\gamma$  为辅助指标;中厚和厚煤层则以煤厚变异系数  $\gamma$  为主要指标,以煤厚可采性指数  $K_m$  为辅助指标。通过全井田、分水平、分采区的煤厚稳定性定量计算,结合定性分析,按照《矿井地质规程》的规定确定煤层厚度的稳定程度(表1)。不稳定煤层不能综采;较稳定煤层能否综采应持慎重态度;稳定煤层才宜于综采。此外,还应综合考虑水、瓦斯等其它地质条件的影响。

### (3) 圈定综采场地,计算综采储量。

**地质构造复杂程度评价** 地质构造也是选择综采场地,影响综采机组采煤的最基本的地质条件之一。常用的评价方法有构造指数法和断层破坏指数法。

**构造指数法** 用定量数据评价井田不同地质块段构造复杂程度的方法。它是德国地质、采矿人员根据鲁尔矿区生产矿井长期积累的地质构造资料,经综合研究后建立的一种评价构造破坏程度的方法。其实质是在分析区域大构造的基础上,首先推断出区域构造应

力作用的方向,进而按构造规模与等级由大到小给每个地质块段分别赋予恰当的指数值,并用各指数值之总和表示各地质块段的构造破坏程度。构造指数值越大,表示构造越复杂;构造指数值越小,表示构造越简单。

中国各煤矿的地质构造条件差异很大,很难采用统一的赋值范围,一般由各矿区或矿井按具体地质构造条件,分别拟定适合当地的评价数据。

**断层破坏指数法** 定量评价煤层内小型断层的破坏程度的方法,采用的指数有①单位面积内断层的条数,称断层条数指数;②单位面积内断层的长度,称断层长度指数;③单位面积内断层长度与断距的乘积,称断层强度指数。这三项指数同时采用比较困难,一般仅选用其中一项。鉴于断层长度在图上容易测量,精度较高,且具单值性,是表征断层破坏程度的主要指数。据前苏联的经验,断层长度指数是评价机械化开采条件、估算储量地质损失、衡量开采经济效益的重要参数。按断层长度指数,可把矿井分为四类(表2)。

**煤层顶、底板稳定性评价** 顶、底板岩层的力学性

表2 按断层长度指数划分的井田复杂性类型\*

| 地质构造复杂程度的井田复杂性类型 | 井田的平均断层长度指数<br>(m/km <sup>2</sup> ) | 断层带内岩层破坏程度指标值 |          |           | 断层附近煤层的损失率<br>(%) | 矿山工作机械化的可能水平  |
|------------------|-------------------------------------|---------------|----------|-----------|-------------------|---------------|
|                  |                                     | 实际生产率         | 吨煤成本     | 千吨掘进率     |                   |               |
| 第1类              | <50 000                             | 1             | 1        | 1         | <3                | 综采工作面全面采用综采   |
| 第2类              | 50 000~100 000                      | 0.85~0.99     | 1.2~1.4  | 1.10~1.15 | 5~20              | 综采工作面部分采用综采   |
| 第3类              | 100 000~250 000                     | 0.5~0.75      | 1.4~1.75 | 1.3~2.5   | 30~50             | 个别工作面或小块段采用综采 |
| 第4类              | >250 000                            | <0.5          | >1.75    | >2.5      | >50               | 目前不能采用综采      |

\*本表数据系苏联Л.С. 葛尔坦等,单位已换算成法定计量单位。

质和稳定程度,是选择液压支架型号和顶板管理方法的重要依据。评价方法是,先在已开采区按开采规定的分类原则对顶、底板岩层划分类别,再用类比法编制未采区的顶板类型预测图或顶板地质险情图(图1、图2)以及底板岩性分布图等,然后进行评价。

**指数法综合评价** 前苏联、日本等国曾采用这种方法评价各种地质条件对开采的综合影响。评价步骤如下:

(1) 系统列出煤层厚度、倾角,煤的硬度,老顶和直接顶的冒落性,底板稳定性,地质构造,涌水,瓦斯,煤与瓦斯突出,煤层冲刷带,底板标高等影响综采的原有地质条件。

(2) 按对综采的有利或不利程度,对每项地质条件进行分级。一般分为三个级别,①1级,对综采无不利影响;②2级,使综采能力降低;③3级,综采需采取专门措施。

(3) 对各个级别分别赋予一定的有利程度指数。

(4) 按对综采有利程度指数划分采区或构造块段对各种开采地质条件按块段赋值并计算其总和值(表3)。

**等性块段指数法评价** 以具有一定面积,主要地质特征大体相等的经济地质体作为基本单元的地质条件评价方法,20世纪80年代中期由中国煤田地质勘探学者提出,最初作为一种定量划分勘探类型的方法,

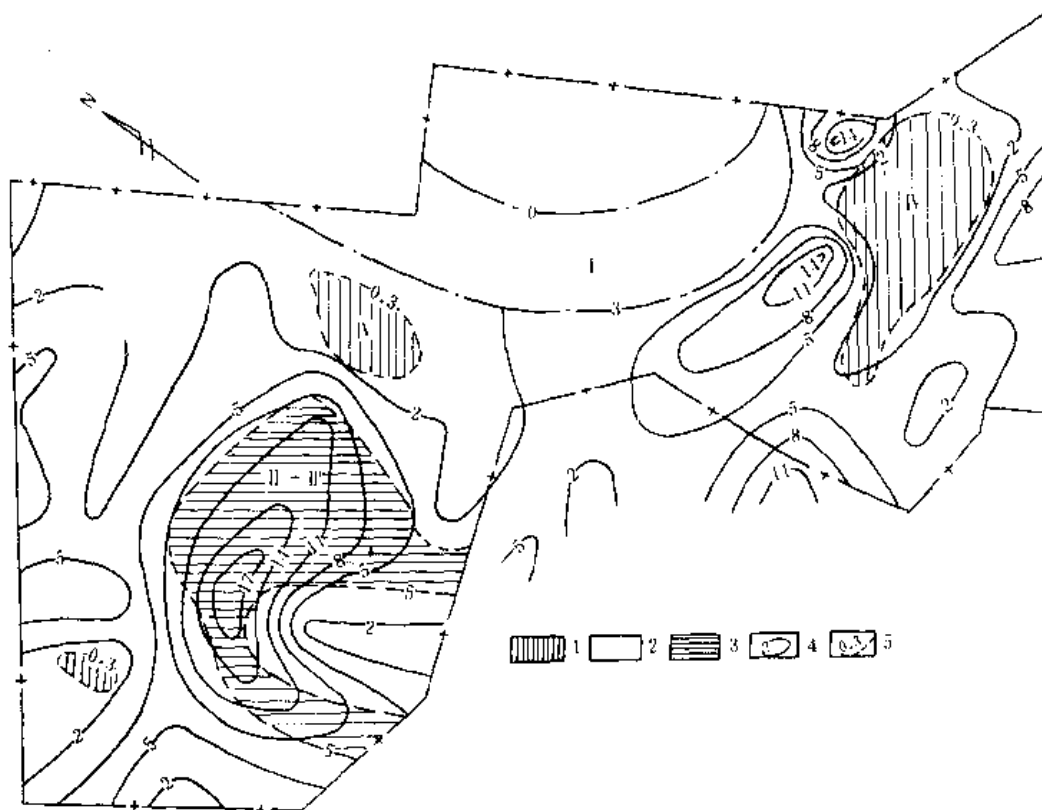


图1 煤层顶板分级预测图

1—IV级顶板区；2—I级顶板区；3—II~III级顶板区；4—直接顶板等厚线；  
5—直接顶板厚度与采高比值等值线

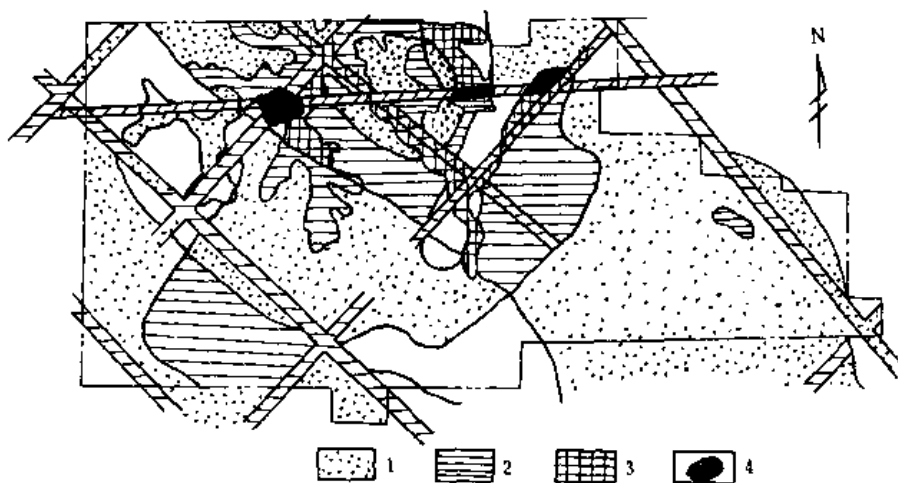


图2 煤层顶板险情图

1—顶板险情指数等于0~5；2—顶板险情指数等于6~10；3—顶板险情指数等于11~15；  
4—顶板险情指数大于15

现已被引入综采工作，作为评价综采地质条件的基本单元。

评价方法是先按地质特征划分块段，①煤层等性块段，在煤层等厚线图上，按不同采煤适宜厚度划分块

段；②构造等性块段，在煤层底板等高线图上，以影响综采工作面或采区划分的断层或褶曲为边界划分块段；③顶板岩层等性块段，在煤层顶板岩性和厚度等值线图上，以不同类型和级别分区线划分块段。再分因



表3 开采地质条件有利程度分级

| 序号 | 地质条件           | 有利程度级别 (指数)   |                |               |
|----|----------------|---------------|----------------|---------------|
|    |                | 1级<br>(36~31) | 2级<br>(30~19)  | 3级<br>(18~12) |
| 1  | 煤层厚度, m        | 2.0~1.2       | 1.2~0.7        | <0.7          |
| 2  | 煤层倾角, (°)      | 0°~12°        | 13°~35°        | 35°~90°       |
| 3  | 煤的切割阻力, kg/cm  | <180          | 180~300        | >300          |
| 4  | 老顶岩石的冒落性       | 易冒落的          | 中等冒落的          | 难冒落的          |
| 5  | 直接顶岩石的稳定性      | 中等的<br>稳定的    | 塑性弯曲的<br>较稳定的  | 不稳定的<br>极不稳定的 |
| 6  | 断 层            | 无或落差<0.4m     | 局部可能有, 落差≥0.4m | 较普遍, 落差>0.5m  |
| 7  | 底板岩石的稳定性       | 稳定的           | 较稳定的           | 不稳定的          |
| 8  | 底板等高线的变化, (°)  | ±0°~±10°      | ±10°~±15°      | >±15°         |
| 9  | 工作面涌水量, m³/h   | <2            | 2~10           | >10           |
| 10 | 工作面瓦斯涌出量, m³/t | 0~5           | 5~10           | >10           |
| 11 | 煤、岩石和瓦斯的突出     | 无             | 局部可能有          | 肯定有           |
| 12 | 煤层的冲刷          | 无             | 局部可能有          | 肯定有           |

素、分块段赋予指数值,最后将各因素块段叠加合成,合成块段内指数之和即可作为综合评价依据。

**模糊数学综合评价** 综采地质条件评价问题是一个受多种因素影响的具有非确定性的模糊评价问题。评价时,从单因素模糊评判数学模型研究入手,经过单层次综合评判模型的过渡,最后得到多层次模糊综合评价模型。基本步骤是,①确定评判指标,建立因素集;②确定每个因素的隶属函数;③建立权重集,选择算子模型;④建立评价集;⑤选择综合评判模型。

(1) 以等性块段概念划分的地质块段为基本评价单元,建立因素关系模型。影响综采的地质因素很多,大体分为煤层赋存条件、构造复杂程度、其它地质条件等三类。①煤层赋存条件。主要包括煤层厚度稳定性、综采可采性、煤层厚度对综采设备采高的影响、煤层硬度(或可切割性)对采煤机效率的影响、煤层夹矸厚度的影响、煤层倾角变化的影响等。②构造复杂条件。主要是小断层的影响(断层影响面积系数、断层密度、断层落差影响系数等)、综采机组过断层的难度系数、断层面与采煤工作面夹角等。③其它地质条件。主要包括煤层冲刷带、陷落柱和侵入岩体、顶、底板岩层稳定性、水文地质和瓦斯等。

(2) 将列出的所有影响因素,按其影响程度,定义相应的隶属函数。

(3) 依据对评价区总体地质条件研究结果,给出各影响因素的权重值。

(4) 选取算子模型,全面计算,得出评价结果。

**图形数据处理综合评价** 把各种单项评价结果,

以数据或图形方式输入计算机,采用专门的图形数据处理软件系统进行处理,得出综合评价结果并以图形方式输出。

对矿区和井田地质资料掌握的丰富程度和研究深度是诸评价方法共同的基础。各种方法均有其适用范围和局限性,针对一个矿井的特定地质条件及资料分析深度,恰当地选择评价方法和综合地使用多种方法,才能收到较好的效果。

#### 参考书目

龙荣生,《矿井地质学》,煤炭工业出版社,1991。

(赵宗沛)

zonghe kantan

**综合勘探** (generalized exploration) 在煤田地质勘探各阶段,各种勘探手段的综合运用和对各种与含煤岩系伴生或共生矿产资源的综合评价。为揭露和查明勘探区的地质规律和煤炭资源情况,需运用各种勘探手段,这些技术手段要因地制宜,综合使用;在勘探中以煤为主,同时做好勘探区内其它有益矿产的综合评价和勘探。

**勘探手段的综合运用** 煤田普查与勘探的技术手段主要有:遥感地质、地质填图、坑探工程、钻探工程、地球物理勘探等。各种勘探手段各有其不同的原理、特点、适用条件和应用效果,都是为完成一定的地质任务服务的。在运用各种勘探技术手段时,要取长补短,合理配置,综合运用。在中国西部地质工作研究程度较低的地区,宜先用遥感地质进行国土和矿产资源的综合



调查,后进行地质填图、施工钻探工程;在中国南方和西南暴露煤田和半隐伏煤田,宜先做好地表地质工作,进行地质填图和施工坑探工程,后施工钻探工程;在中国北方隐伏煤田,宜先物探、后钻探。20世纪50年代末,中国东部地区,在分析地质规律的基础上,采用电法扫面、钻探验证的综合普查找煤方法,总结出一套地质—地球物理综合勘探经验,在皖北、鲁西、豫东、冀东、辽南等地找到了一系列大型隐伏煤田。60年代末,在详查、精查阶段,采用了地震、钻探相结合的综合勘探方法。先用地震勘探控制勘探区边界、矿区(或井田)地质构造形态,探查断层位置、覆盖层厚度和主要煤层露头位置,为钻探工程布置指明方向和提供依据。80年代以来,在安徽刘庄和山东唐口精查中,采用高分辨率地震勘探和钻探相结合的综合勘探,提高了勘探精度,并减少了2/3钻探工程量,大大节省了勘探投资和缩短了勘探周期。高分辨率地震勘探能查明落差大于10m的断层,在地震-地质条件好的地区,甚至连落差为5~10m的断层亦有明显显示,在探测煤层厚度变化、分岔、尖灭亦取得了初步成果。目前,国内正在进行三维地震勘探的试验,为解决专项地质问题,特别是探明井田内小型地质构造,使矿井建设节省大量验证工作量。

**矿产资源的综合评价** 煤田地质勘探各阶段,均应以煤为主,对与煤伴生或共生的各种有工业价值的其它矿产和伴生元素,进行综合勘探,综合评价。与煤有关的其它有益矿产大致可以分为三类。

(1)与煤层(包括夹石、伪顶、伪底)共生的有益矿产。包括锗、镓、铀、钒、钽、铯等稀散、放射性元素和煤层气。

(2)含煤岩系内的其它矿产。包括油页岩、铝土矿、硫铁矿、菱铁矿、褐铁矿、锰矿、硅藻土、耐火粘土、膨润土、高岭土、石墨、石膏和煤成气等;

(3)含煤岩系上覆或下伏地层中的其它有益矿产。包括煤成气、煤成油、石灰岩、砂岩、卵石、砂、粘土等。

此外,根据资源条件和实际需要,还应做好煤矸石和石煤的综合勘探和综合评价工作。对勘探区内发现的上述有益矿产,在地质报告中都要加以评述;对达到工业要求的矿种,还需提交专门地质资料,计算其储量,评述其利用的可能性,并提出进一步勘查工作意见。

(许友志)

## zouxiang huadong gouzao

**走向滑动构造 (strike-slip tectonics)** 大规模走向滑动断层及其分割的断块与其派生低级别构

造的复杂构造组合。断层两盘沿断层面的走向发生水平运动。

1888年对新西兰地震所造成的地表水平位移的观测,是关于走滑断层的最早的记录。走滑断层形成于各种不同的构造背景,横切洋脊的转换断层(transform fault),就是一种特殊类型的走滑断层,其水平位移可达数百至千余公里。位于北美大陆板块边缘的圣安德列斯(San Andreas)断层,总长约1000km,自白垩纪以来,其右行水平位移已达450km。板块的拼合、碰撞作用可以导致其前缘楔形地块沿区域性走滑断面向两侧逃逸,土耳其的北安纳托利亚(Anatolia)断层,其右行位移约85km。大陆板块内部的区域性走滑断层,与板块边缘活动的远程效应和板内应力分配有关,中国东部的郯庐断裂总长达2400km,自中生代以来,其左行水平位移约700km。

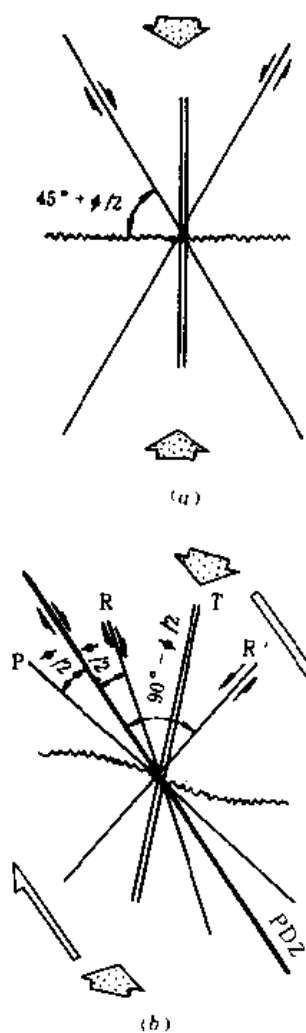


图1 走滑断层形成机制及其组合样式  
a—纯剪切;b—单剪切

沿大型活动性走滑断裂带,地震和岩浆活动频繁。走滑断层派生的垂向效应可形成线形洼地或串珠状沉积盆地。煤田中发育的平移断层,则常与挤压构造相伴生。

**构造样式** 走滑断层倾角陡,延伸性好,常常切穿各种地貌、岩层和构造单元,具有显著的线性特征。走滑断层是地壳在剪切应力场作用下产生的一种变形,其样式主要取决于形成机制,一般可区分为纯剪切和单剪切两种类型。

**纯剪切 (pure shear)** 又称非旋转型剪切,在剪切作用下物体的变形,只发生内部旋转,不发生外部旋转,往往由水平挤压或拉张引起,形成两组共轭走滑断层,是地壳压缩过程中的脆性应变。断层走向与主压应力方向斜交,其交角接近  $45^\circ$ 。纯剪切作用难以提供大型地块汇聚的空间,一般断层规模不大,多见于冲断—褶皱构造带 (图 1a)。

**单剪切 (simple shear)** 也称旋转型剪切,形成断裂网络,包括五组断裂 (图 1b)。最早出现的是与滑移同向和反向的吕德尔 (Riedel) 共轭剪切断裂 R、R' 和拉伸断裂 T。由于沿 R 剪切断裂阻力降低,导致形成二次同向走滑断裂 P。应变进一步发展,产生一条网结状主位移带 PDZ,其位移迹线由 R 和 P 断裂线变

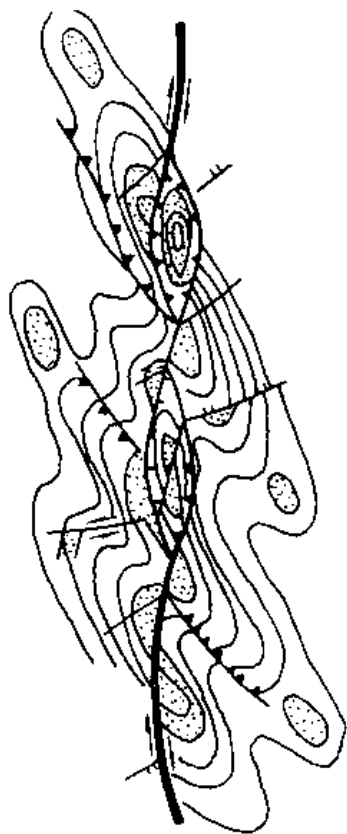


图 2 走滑断层及其派生的构造带

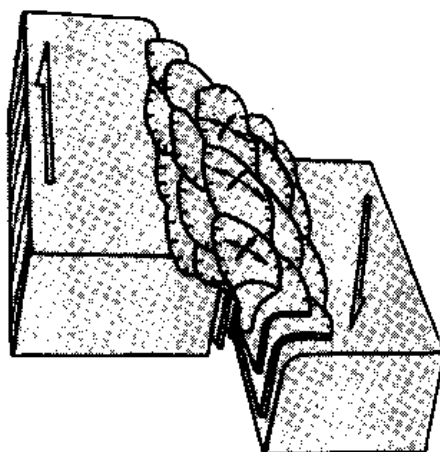


图 3 走滑断层及其派生的花状构造

换组成,沿走向发生弯转或形成辫状断裂带。单剪切具有总应变的旋转分量,可以产生各种规模的走滑断层,尤其是大型走滑断层。

**走滑构造带** 由主走滑断层及其派生的低序次、低级别断裂和褶皱组成,以雁列样式为特征。派生褶皱、断裂与主走滑断层斜交 (交角为  $10^\circ \sim 30^\circ$ ),在主干断层上或旁侧成带分布,它是识别走滑断层及其两盘相对移动方向的重要标志 (图 2)。地表不同倾向的分支断层面和褶皱轴面,其倾角向深部变陡,逐渐归并于近直立的主干断层,构成所谓花状构造 (flower structure, 图 3)。

主走滑断层的斜列、弯转、分支或尖灭,将导致构造样式的转换和移距的显著变化,并形成挤压和引张构造成分、隆块和沉积盆地的相互交替配置。

**拉分盆地** 由主走滑断层派生的引张效应所形成的断陷盆地。它主要发育于斜列走滑断层的阶区 (stepover) 或主干断层的离散弯曲部位。

(1) 断层离散弯曲部位或终止端,走滑断层及其派生的引张断层构成断裂网络,可形成半地堑盆地 (图 4a、b)。

(2) 辫状断裂带内,抬升与陷落断块交替配置,可形成楔形、椭圆形盆地 (图 4c)。

(3) 主走滑断层斜列的阶区,两侧的主干走滑断层及其终止端的横向正断层系,可形成典型的 S 形或菱形拉分盆地 (pull-apart basin, 图 4d)。盆地的宽度由斜列主干断层的离距限定。伴随走滑作用,盆地不断拉长,其长宽比相应增大,多数菱形拉分盆地的长宽比值约为  $3:1$ 。

拉分盆地具有较高的沉积速率,每千年常可高达  $100\text{cm}$ 。盆地充填是一个动态过程,沉积厚度侧向变化大,同沉积不整合和低级别构造发育。沉积中心不断迁

移, 充填层序呈叠瓦状配置, 向沉积中心递次更新, 累积地层厚度显著大于任何局部地段的地层厚度。

**煤田走滑断层** 大型走滑断层一般构成含煤区或煤田的边界构造, 而煤田勘探和矿井生产中所遇到的, 则主要是与褶皱构造伴生的共轭平移断层, 通常以一组发育为主, 将矿区或井田斜切为一系列构造块段。块段内部可发育低序次、低级别构造, 其展布方位和配置服从于边界平移断层所附加的单剪切应力场。中国河北井陘二矿西区由两条平移—正断层分割的地垒式块段内, 分布着一系列沿北北东向斜列的褶皱、逆断层和沿北西西向斜列的正断层, 并依据附加扭动应力场而组成构造网络, 成为影响矿井开拓布置和开采的主要地质因素 (图 5)。

走向滑动和垂直于走向的拉伸 (或挤压) 作用, 是一个连续体的两个终端项, 而最常见的是其过渡类型。同时, 大型走滑断层具有长期、多次活动的特征, 其滑

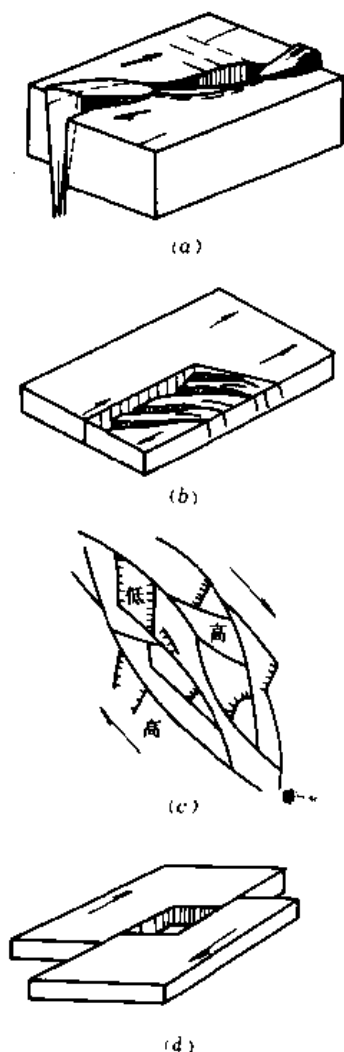


图 4 走滑断陷盆地样式

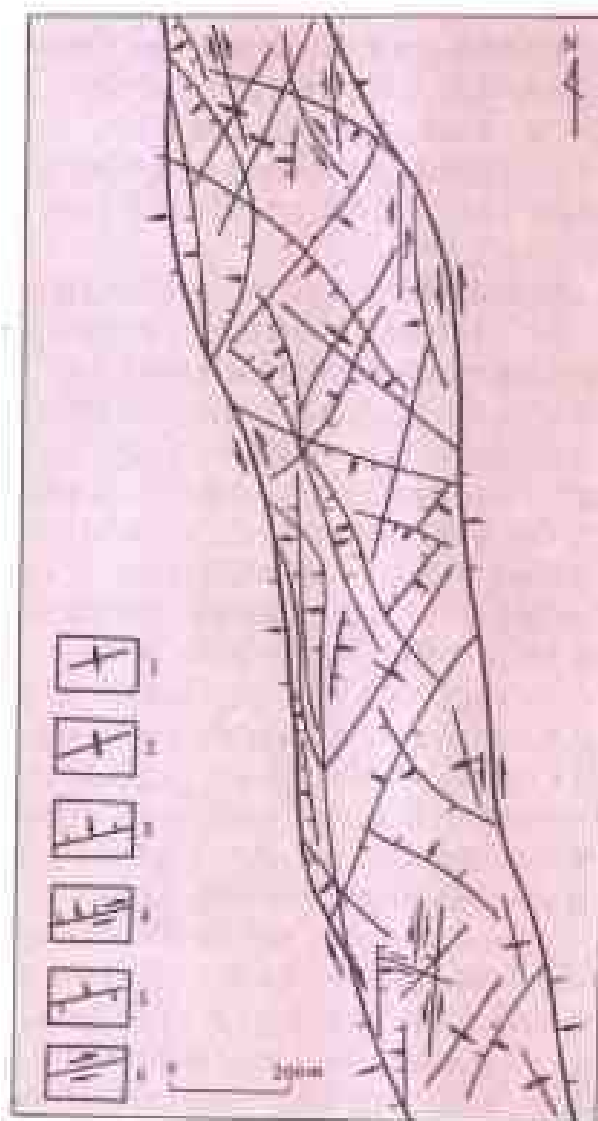


图 5 中国河北井陘二矿西区构造纲要略图

1—斜斜轴迹; 2—斜斜轴迹; 3—正断层;  
4—平移—正断层; 5—逆断层; 6—平移断层

移方向亦可以随时、空而转化, 这是某些大型走滑断层的性质难以确定的重要原因。近代研究成果表明, 走滑断层向深部终止于一个滑脱面, 走滑作用过程实际上是一种薄板状块体沿深部滑脱面发生的走向滑动或旋转运动。

#### 参考书目

J. G. 兰姆塞, M. I. 胡伯, 《现代构造地质学方法》, 徐树桐等译, 地质出版社, 1991。

A. G. Sylvester, Strike-slip faults, Geological Society of America Bulletin Vol. 100, 1988。

(任文志)

zuanjin canshu

**钻进参数** (drilling parameter) 钻探过程中, 直接影响钻进效率和钻孔质量的一些可以控制的技术参数的总称。针对不同的钻进条件(岩石性质、孔深、孔径、钻头类型、钻进方法、设备能力等), 为获得最佳钻进效果而人为规定的相关参数的合理取值范围及其相互配合, 称为钻进规程。不同的钻进方法有不同的相关钻进参数。

**回转钻进参数** 包括钻压、钻头转速和冲洗液量。

**钻压** 又称轴心压力, 作用在钻头上的轴向压力, 由钻具自重和钻机给进机构对钻具施加的力形成。生产中有三种表示方法, ①总压力, 通过钻具施加在钻头上的总轴向压力, 单位 kN; ②单位压力, 总压力作用在钻头与岩石接触面上的压强, 单位 MPa; ③单颗切削具压力, 分布在每颗切削具上的压力, 单位 kN。钻压是使切削具或磨料压入或压碎岩石的外力, 它在回转力矩的配合下, 可实现连续破碎岩石。钻压既影响钻头碎岩效率, 又影响切削具的磨损速度。钻压过大, 在软岩层中钻进时会导致切削阻力过大和排屑不畅, 影响钻进甚至造成钻具折断; 在较硬岩层中钻进时则会导致切削具崩裂或过早损坏。钻压过小, 会使切削具不能有效地破碎岩石。确定钻压的最优值, 应从钻速和钻头寿命两方面进行综合考虑。此外, 在正常钻进时, 应根据切削具的磨损程度及时适当调整钻压。

**钻头转速** 简称转速, 钻机主轴的转速或孔底动力机转子的转速。生产中有两种表示方法, ①转速, 单位时间内钻头回转的圈数, 它与钻头直径大小无关, 单位 r/min; ②线速度, 钻头回转时, 其外圆周上的一点在单位时间内所走过的路程, 它与钻头的转速和直径之积成正比, 单位 m/s。一般在适宜的钻压下, 提高转速会加快钻进速度, 然而切削具需要散热的时间, 岩石破碎过程(形变、裂化、破碎)也需要一定的作用时间, 转速过高反而有害无益。

**冲洗液量** 简称泵量, 单位时间内泵入孔内维持循环的冲洗液体积。生产中也有两种表示方法, ①总泵量, 单位时间内送入孔内的冲洗液总量, 单位 L/min; ②单位泵量, 总泵量与钻头直径之比, 单位 L/(min·cm)。泵量主要根据单位时间内产生岩屑的多少及能否及时将其携带到地面加以确定。冲洗液携带岩屑的能力取决于其性能和上返速度。岩屑多且粒度大, 孔壁与钻杆之间的环状间隙大, 所需的泵量也大。一般说, 泵量宁大勿小, 但过大又会冲蚀岩、煤心和孔壁。对钻粒钻进, 泵量的选择还直接影响破岩效果。

各钻进参数间通常会互有影响, 须针对具体情况灵活掌握和控制, 并注意协调地调节, 以获得最佳钻进

效果。采用硬质合金钻进方法时, 钻进松软岩层应采用高转速、小钻压、大泵量; 钻进可钻性在 4~5 级的中硬岩层应采用高转速、中等钻压、较小泵量; 钻进硬而研磨性强的岩层时, 应采用大钻压、低转速、中等泵量。

**冲击钻进参数** 包括钻具重量、冲击高度、冲击次数和岩粉密度等。

**钻具重量** 钻头、钻杆和绳卡等能施力于岩石的钻具总重量。其大小应根据岩石软硬和孔径大小选定, 岩石越硬、孔径越大, 钻具重量也应越大。

**冲击高度** 又称冲击行程, 简称冲程, 在冲击运动时, 钻具提离孔底的高度。通常取 0.6~1.1m, 对软岩层取大值, 以提高钻探效率; 对极硬岩层取小值, 防止钻头崩刃。

**冲击次数** 又称冲击频率, 钻具每分钟冲击孔底的次数。由于钻具是自由下落到孔底的, 因此冲击次数与冲击高度、钻孔垂直度、孔壁状况和孔内岩粉密度等因素有关。

**岩粉密度** 单位体积钻孔内浆液中所含岩粉的质量大小。岩粉密度大会影响钻具下落的加速度, 对碎岩不利, 但对悬浮岩粉有利; 岩粉密度过小, 被冲击破碎下来的岩粉会留在孔底, 形成岩粉垫, 使钻头不能接触孔底岩石。一般, 岩石相对密度越大, 其最佳岩粉密度值也越高。实际操作中, 用回次捞砂间隔和每次捞砂量来控制岩粉密度。

(赵贵祥)

zuanjin canshuyi

**钻进参数仪** (instrument of drilling parameter) 钻探工作中, 用于监测钻进参数, 以便对钻进过程和钻探设备的运行状况进行定量分析和优化控制的仪器和仪表。钻机上的指重表和泥浆泵上的压力表实质上就是最简单的单参数钻进参数仪, 但通常所说的钻进参数仪是指独立于钻机和泥浆泵之外自成单元的监测钻进参数的仪器和仪表。

目前, 利用钻进参数仪直接监测的参数有钻压、钻具转速、冲洗液量(泵量)、泵压、扭矩、钻速、累积进尺和液动冲击器工作频率等。性能较完善的新型钻进参数仪还可由此导出岩石破碎系数、岩石可钻性指数、参数的变化率、钻头的每转进尺等参数。这些参数不仅可以指导钻探施工, 而且还可为科研人员进行钻探工艺和机具的分析研究提供可靠依据。

钻进参数仪工作环境恶劣, 对其防震、防潮、耐温度变化和电源电压波动等性能要求较高。钻进参数仪的测量精度, 与测量方法和传感器的种类有关, 其误差一般为满量程的  $\pm 1\% \sim \pm 5\%$ 。



### 功用

(1) 便于进行钻进工艺参数的优化, 提高钻进速度, 延长钻头寿命。钻压、钻具转速和冲洗液量(泵量) 是三个重要的回转钻进参数, 在钻进过程中, 通过钻进参数仪可随时监视、测量这些参数的值, 并针对具体条件进行相应的调整和组合。

(2) 用以监视钻孔内岩层的岩性变化和钻具的工作状况。在岩层岩性发生较大变化时, 钻进参数也会相应变化, 总结这些参数变化的规律, 可作为判层的依据。在煤田钻探中, 常利用这种变化进行见煤预报。此外, 根据扭矩、钻速等参数的变化, 可对岩心堵塞、钻头磨损等情况作出较可靠的判断。

(3) 用以发现孔内事故和机械故障的征兆, 以便及时采取措施, 防止重大事故发生。泥浆泵密封不良或摩擦传动副打滑时, 泵量会下降; 钻头水眼堵塞或孔内岩粉过多, 冲洗液循环阻力增大, 泵压会明显上升; 孔内出现坍塌掉块时, 钻杆回转扭矩会剧烈变化。通过钻进参数仪的监测, 及时发现这些情况, 便可及时予以处理, 避免烧钻、埋钻和卡钻等孔内事故及因设备带病运转或过负荷而引起机械事故。为增强这种作用, 又不使操作人员长期处于精神紧张的状态, 钻进参数仪上常设有声、光报警装置。

(4) 发生孔内事故时, 钻进参数仪显示的数据, 有助于判断事故类型和检查处理效果, 缩短停钻时间。在钻进过程中, 扭矩经短暂升高后很快降低到正常值以下, 泵压也随之降低, 通过称量钻具又发现其重量减小, 可判定已发生钻杆折断事故, 根据钻具称重结果, 还可推断钻杆折断的位置; 在打捞钻具时, 通过钻具称重, 可确定钻具是否已把折断的部分抓住。

**测量方法及传感器** 不同参数的测量方法及所用的传感器也不同。

**钻压测量** 在液压给进钻机上, 通过特制的双盘压力表测量给进油缸的压力, 可方便地称量钻具和指示钻压。在采用主动钻进方法时, 为达到同一目的可在提升钢丝绳死端连接一块拉力表。在上述部位接入应变式压力传感器, 即成为现代钻进参数仪的钻压信号源。

**泵压及泵量测量** 用于监测泵压的仪表, 除了抗震压力表之外, 一般都用压力传感器及二次仪表。钻孔冲洗液的化学成分和流变特性变化大, 腐蚀性强, 压力较高, 适用于泵量测定的传感器不多, 生产中多选用浮子式流量计。

**主轴转速测量** 在一般情况下, 都是按照钻机的使用说明书上给出的数据选择主轴转速, 而不对其实际值进行监测。随着无级调速钻机的推广和对钻探

工艺科学化的要求不断提高, 监测主轴转速已成为对钻进参数仪的基本要求。对转速的测量, 以往常用测速发电机作传感器, 现在则多用精度较高的磁电式转速传感器, 以其所产生电脉冲信号的频率反映钻机主轴的转速。

**扭矩测量** 大多数钻进参数仪都采用测量与扭矩有关的其它物理量来间接反映扭矩变化的方法, 包括测量电动机的工作电流、液压马达进、出油口处的压力差等。有时, 将相位差扭矩传感器安装在动力机与主摩擦离合器之间, 但需对钻机作局部改装, 测得的扭矩须乘以相应档次的速比和机械效率才能求出主轴的扭矩。

**钻速测量** 钻速受到钻进工艺和地质条件等多种因素的影响, 因而也是反映钻进效果最全面的参数。在现代钻进参数仪上, 常用位移传感器对钻速进行较准确的测量。有时, 先将线位移转换成角位移, 再用低速测速发电机或磁电式传感器进行测量。钻速的变化范围较大, 在低速时近于“爬行”, 一般要通过机械或电子装置进行换档和放大。

**累积进尺测量** 利用仪器进行累积进尺测量并非必要, 只有少数钻进参数仪有这种功能。在一个回次的钻进过程中, 通常要进行多次倒杆, 因此在测量累积进尺的传动系统中必须设单向传动机构。

**冲击器工作频率测量** 用于液动冲击回转钻进的测频仪是根据冲击器工作频率与管道中水击波频率相一致的原理设计的。它由接在送水管上的压力传感器与频率计两部分组成。

**发展概况** 由于多方面的原因, 多参数钻进参数仪在中国应用还不广泛, 但在该领域的研究工作多年来却一直没有停止, 从 20 世纪 70 年代后期开始, 进展明显加快, 至 80 年代初, 已有多种仪器定型投产。80 年代中期, 微机技术进入该领域, 钻进参数仪也跨入了发展的新阶段。90 年代初, 出现了适于生产现场使用的具有一定人工智能的实时监测和优化控制系统, 即除了对钻进过程进行监测之外, 还能根据现代钻探理论和实践经验进行分析判断, 给出正确提示; 当出现孔内事故征兆时, 能自动使钻具脱离孔底或停车。有的, 还可以通过打印和磁记录积累实钻资料。这种新型钻进参数仪已与钻机紧密结合, 为研制自动钻机和实现自控钻进奠定了基础。

西方国家多将发展重点放在石油钻井参数仪表上, 只有英国、瑞典等少数国家研制过一些单参数地质钻探仪表。前苏联在这一领域做了许多工作, 从 20 世纪 50 年代开始, 一直延续至今, 生产单参数仪表、综合钻进参数仪和钻进参数记录仪等, 品种较多, 在生产

中应用也较普遍。

(胡少韵)

## zuanjin fangfa

**钻进方法** (drilling method) 为破碎岩石、形成钻孔所采用的方法和技术措施的总称。目前主要应用机械的方法破碎岩石。为使钻进工作连续进行,必须不断地破碎岩石,清除岩粉、岩屑和维护孔壁,这三者简称钻进方法三要素。

### 分类

(1)根据施加外力的性质和方式,钻进方法可分为冲击钻进、回转钻进、冲击回转钻进、振动钻进等。

(2)按钻进时是否取心,钻进方法可分为取心钻进和无岩心(全面)钻进。

(3)根据碎岩工具或磨料种类,钻进方法可分为硬质合金钻进、钻粒钻进、金刚石钻进、牙轮钻进等。

(4)按钻具特征,钻进方法可分为单管钻进、双管钻进、跟管钻进、绳索取心钻进等。

(5)按冲洗介质性质,钻进方法可分为清水钻进、泥浆钻进、泡沫钻进、空气钻进等。

(6)按冲洗介质循环方式,钻进方法可分为正循环钻进、反循环钻进、局部反循环钻进。

(7)按钻孔方向,钻进方法可分为垂直孔钻进、水平孔钻进、定向孔钻进。

**优化钻进** 合理选择钻探设备和工艺,及时调整钻进规程,取得最佳技术经济效果的钻进技术和方法。在钻孔施工时,根据地质条件(岩层岩性)、钻孔深度、孔身结构等,对与钻进有关的各种因素进行优选,使之互相配合,在最短的施工期内,以最高的钻进效率,最好的钻孔质量,最低的钻探成本,取得最佳的钻探综合经济效益。须优化的影响因素主要有①钻探设备及机具的组合配套;②钻进方法的选择;③钻孔孔身结构;④钻头结构及其参数;⑤钻进规程(钻头轴向压力、转速、冲洗介质的性质及流量等);⑥施工队伍的人员素质与组织等。实际施工中,由于各种条件的限制,要使所有因素都达到最优往往很难实现,通常只能选择影响最大的一项或某几项因素加以优化,而使其它因素处于一定的合理范围内。

(李 岳)

## zuankong

**钻孔** (drill hole) 根据地质或工程要求,利用钻探设备,在岩(土)层中钻凿的直径远小于其深度的柱形圆孔。钻孔的最上部称孔口,钻孔的底面称孔

底,由孔口至孔底的整个柱状侧面称孔壁。整个钻孔有时也称为孔身。根据工程目的不同,钻孔可分为地质勘探钻孔、水文钻孔、工程钻孔等。

**钻孔要素** 钻孔直径(简称孔径)、钻孔深度(简称孔深)、钻孔方向是一个钻孔的三要素。钻孔要素取决于工程目的和施工条件。煤田地质勘探钻孔的直径通常在75~172mm范围内;直径小于75mm的称小口径钻孔;直径大于172mm的称大口径钻孔或钻井。煤田地质勘探钻孔的深度通常不超过1500m,深度在300m以内的钻孔称浅孔;深度在300~800m的称中深孔;深度超过800m的称深孔。钻孔方向即钻孔轴线的指向。地面钻孔有直孔(垂直孔)和斜孔(钻孔轴线同铅垂线间夹角小于45°的钻孔)。坑道钻孔的方向可变性很大,可以从垂直向下到垂直向上,但多数是接近水平的钻孔。

**钻孔结构** 又称孔身结构,指钻孔由开孔到终孔的孔径变化。通常在施工前对钻孔结构进行设计,即提出对整个钻孔与一定深度相对应的孔径变化要求,并以剖面图的形式绘出。设计内容包括埋设孔口管的直径及深度、开孔直径和钻进深度、各个变径孔段的直径和钻进深度。如须下入套管,还应绘出套管规格、下入位置、层数及固定方法,并附文字说明以及终孔直径和终孔深度等。孔身结构剖面又称钻孔技术剖面,它作为《钻孔地质技术指示书》的重要内容之一,是钻孔施工的主要依据。设计时,综合考虑钻孔的工程目的、岩层特点、最大深度、合理的终孔直径以及钻进方法、护孔措施、设备能力等,并在满足地质或工程要求的前提下力求简化孔身结构;尽量缩小整个钻孔的直径;尽量少变换孔径,不下或少下套管,以加快钻进速度、降低钻探成本。常用的设计方法是先根据钻孔工程目的及最大钻进深度确定合理的最小终孔直径,再据穿过的岩层性质、孔壁稳定情况及合理利用设备功率等因素,自下而上逐段推出变径位置以及开孔直径。对于较复杂的孔段应考虑进行技术处理或下入套管的可能,保留进行扩孔或下入套管的备用直径,不强求简化。

**钻孔功能** ①获取岩(煤)心、岩(煤)屑或煤层气样品,必要时从孔壁补取岩(煤)样。②作为煤田测井通道,获取岩(煤)层各种地球物理信息。③简易观测地下含水层水文地质动态。④有的钻孔可探采结合,开采地下水、煤成气,地热等。

(赵青祥)

## zuankong chongxi

**钻孔冲洗** (hole flushing) 钻进时借助泥浆泵或空气压缩机将具有一定压力和流量的冲洗介质送



入钻孔,再经一定路径返回到地面,形成循环流动,以达到冷却钻头、排除岩屑等目的的作业。在特殊情况下,进行钻孔冲洗的同时,还可为螺杆钻、涡轮钻等孔底动力钻具或液动冲击器、气动潜孔锤等输送动力。

**钻孔冲洗方式** 按冲洗介质在钻孔内的流动路径不同,钻孔冲洗分为正循环、反循环和孔底局部反循环等三种方式,其中以正循环冲洗应用最多,因其无需增添特殊装置且易于掌握,但在松散破碎岩层中应用时常会冲蚀岩心,降低岩心采取率,宜改用反循环冲洗方式。

**正循环冲洗** 冲洗介质由水接头送入钻孔后,沿钻具内孔流至孔底,再沿钻具与孔壁之间的环状间隙流回地表。

**反循环冲洗** 同正循环的流动路线方向相反,冲洗介质由孔口密封装置送入钻孔后,沿钻具与孔壁间的环状间隙(单壁钻杆时)流到孔底,或由双通道水接头送入,沿双壁钻杆内、外管之间的环状间隙流至孔底,再由钻具中心孔流回地表。

**孔底局部反循环冲洗** 仅在靠近孔底的一段钻孔内采用反循环冲洗,其余大部分孔段仍为正循环冲洗。

**冲洗介质** 液态冲洗介质,又称冲洗液,包括清水、泥浆、乳化液和无固相冲洗液;气态冲洗介质有压缩空气;气液混合冲洗介质有水雾、泥浆雾、泡沫和充气泥浆等。

**清水** 适用于稳定及遇水不膨胀岩层,其流动性好,循环阻力小,冷却钻头效果好,钻进效率高,且使用简便,不会造成环境污染。

**泥浆** 粘土在水中经搅拌、处理,使其颗粒高度分散制备的胶质悬浮液。它多适用于不稳定及水敏性(遇水膨胀)岩层,具有良好的保护孔壁和减少冲洗介质漏失的作用,且其悬浮岩屑的能力强,使孔底更易保持清洁(见泥浆)。

**乳化液** 有水包油和油包水两种。多为水包油类乳化液,由浓稠乳化油(基础油加乳化剂制成)在水中稀释并加热搅拌而成。另有一种不含基础油的乳化液,由清水加表面活性剂(乳化剂)经搅拌而成。乳化液具有润滑减阻和防振作用,适合于在稳定岩层进行高转速金刚石钻进使用。

**无固相冲洗液** 由清水加入高分子聚合物或硅酸钠(水玻璃)等配制而成。它能使岩屑适度聚结,易在地面清除。其流动性好,具有润滑减阻作用和一定的护壁能力。

**压缩空气** 适用于缺水地区、永冻层或冲洗液严重漏失岩层的钻孔冲洗。由于压缩空气对孔底岩石的

压力很小(与冲洗液相比),改善了钻头的碎岩条件,可使机械钻速和回次进尺大幅度提高。它不冲刷、不污染岩心,但在孔内水位较高时使用有困难。

**气液混合物** 由压缩空气与水或泥浆按不同比例(气液比)混合而成。按气液比可分为①水雾,即压缩空气加水,气液比为2000~3000:1;②泥浆雾,即压缩空气加泥浆,气液比为2000:1;③泡沫,即压缩空气加水或泥浆,再加少量发泡剂,其中加低固相泥浆配制者,当气液比为100:1时称粘稠泡沫,气液比为100~300:1时称凝胶泡沫;④充气泥浆,即在泥浆中充入空气,气液比为10~30:1。

**冲洗介质的性能要求** ①具有良好的冷却能力,可及时把钻头与孔底岩石摩擦产生的热带走,避免烧钻事故。②具有一定悬浮、携带岩屑的能力,避免孔底岩屑受到重复破碎,以延长钻头寿命,提高钻速,并防止糊钻或岩屑沉降埋钻。③能在孔壁形成一层薄而韧的泥皮,起护壁防塌作用。④对钻具有良好的润滑减阻性能,可减小动力消耗和钻具磨损,延长钻具使用寿命。这对高转速金刚石钻进尤为重要。⑤在特殊情况下,稍经处理即可用于防喷、防涌水或堵漏。⑥具有一定抵抗盐侵、钙侵、粘土侵和温度变化等外界条件影响的能力。⑦不在钻杆内壁结垢,采用绳索取心钻进方法时不妨碍取心。⑧性能稳定,不易变质,不腐蚀钻具。对冲洗介质性能的上述要求,不必面面俱到,可根据具体使用条件而有所侧重。

**发展概况** 早期钻孔冲洗都使用清水。后来发现钻进泥岩类岩层时,岩屑中的粘土颗粒与清水混合自然造浆后能更好携带孔内岩屑,于是人们有意在清水中掺入粘土造浆。在使用中又发现它还有保护孔壁,平衡岩层压力,减少坍塌、掉块,甚至还可封堵钻孔轻微漏失等优点。到20世纪30年代,由于石油钻采业迅速发展的需要,研制出一些测定泥浆性能的仪器,找到了许多配制泥浆的原材料与处理剂,进而促进了泥浆体系的形成和发展。1936年出版的第一本系统论述泥浆的著作《钻井泥浆的制造与测试》和1946年出版的《钻井泥浆控制原理》,奠定了泥浆理论及工艺,成为独立学科的基础。70年代以后,对钻孔冲洗介质的研究有了突破性进展,各种商品化冲洗介质处理剂、添加剂面世,而且仍在不断地开发与完善;聚合物抑制性泥浆体系进一步得到开发;泥浆流变学研究取得新的成果;冲洗液流变参数测定和自动化控制监视已初步实现;冲洗液数据库和专家系统开始建立;泥浆固相控制技术及废液回收、处理有新的进展;钻孔护壁堵漏材料、复合堵漏材料、干式堵漏材料不断推出新产品。随着钻探的应用领域不断扩大,钻凿陆上、水下工程钻孔,各



种注浆孔、桩基孔、坝基和边坡处理孔、研究地壳深部的科学钻孔等,都向钻孔冲洗介质提出不同的和更高的要求。

(赵贵祥)

## zuankong dulou

**钻孔堵漏** (blocking loss in hole) 采取适当措施消除钻孔冲洗液的漏失(简称钻孔漏失),使其恢复循环流动,正常冲洗钻孔的工作。钻孔冲洗液漏失是钻进过程中经常遇到的棘手问题,如不及时处理,不仅会大量消耗冲洗液,还可能引发孔内事故。

**钻孔漏失的原因及分类** 钻孔发生冲洗液漏失需要两个条件,一是孔内出现压力不平衡,即冲洗液的压力大于来自岩层系统的压力;二是岩层系统存在漏失通道。具体原因既有岩层方面的,包括岩石的孔隙度和胶结情况、裂隙发育及充填物情况等;也有地质构造和水文地质方面的,包括构造破碎情况、地下水埋藏条件和运动状态等;还有生产条件诱发的,包括升降钻具对冲洗液的抽吸或挤压,冲洗液使用不当等。钻孔漏失一般分为三级,①小漏失,又称渗透漏失、轻微漏失,这种漏失一般发生在砂岩、砂砾岩及第四纪冲积层等多孔隙的岩(土)层中,其漏失量小,漏速慢,表现为返回地面的冲洗液量较送入的量有减少,水源箱液面逐渐降低,虽然仍能维持钻进和冲洗循环,但冲洗液不断消耗;②中漏失,又称裂隙漏失、普通漏失,多发生在石灰岩、白云岩、裂隙发育的砂岩等各种多裂隙和小孔隙发育的岩石中,也常发生在破碎带或易受压力波动使自身裂隙迅速扩展的岩层中,表现为冲洗循环近于中断,泵入钻孔的冲洗液量仅略大于漏失量,有时,冲洗液面低于孔口并维持在泵入钻孔的冲洗液量等于漏失量的状态,水源箱的液位会迅速降低,如不及时补充,很快即消耗殆尽;③大漏失,又称溶隙(洞)漏失、严重漏失,它主要发生在有大溶洞或许多溶隙相互贯通的石灰岩、白云岩中,表现为冲洗循环完全中止,孔内冲洗液面很低或看不见,泵入钻孔的冲洗液几乎全部漏失。

**钻孔堵漏方法及材料** 钻孔发生冲洗液漏失后,首先应观察漏失程度,进而分析、判断或检测漏失部位及漏失岩层的性质,待全部情况查明后再制定堵漏措施,备好堵漏材料,按部就班地进行处理。堵漏的要领是减小孔内压力差和封堵渗漏通道。为此,宜使用低相对密度冲洗液,并以适当的堵漏材料填塞渗漏通道。小漏失,通常采用调节冲洗液性能或掺入少量惰性堵漏材料或投泥球等办法即可解决;中漏失或大漏失,则必须采用特殊的堵漏材料和堵漏工艺。用于封堵钻孔中、

大漏失的方法有水泥浆液堵漏、化学浆液堵漏、胶凝堵漏、干式材料堵漏、套管隔离堵漏等。

**水泥浆液堵漏** 水泥以其价格低廉、材料来源广泛、胶结强度大、堵漏效果好而获得广泛应用。它可制成浆液泵入或灌注到钻孔内,将漏失通道封填固结。现时各种水泥添加剂可使水泥浆液具有速凝、缓凝、早强、超早强等特性,因此,水泥浆液成为钻孔堵漏优先考虑的材料。

**化学浆液堵漏** 化学浆液堵漏材料在国外应用较多,但主要用于基础工程的防渗、堵漏、补强和加固,少数材料用于钻孔堵漏。在中国曾用于钻孔堵漏的化学浆液品种有氰凝、脲醛树脂、不饱和聚酯等。这类化学浆液材料都有凝结时间短而可调,凝固后有一定强度和粘结力,浆液的流动性和渗透性好,对微小裂隙和孔隙都可渗入等特点,但因材料紧缺、成本高、配制工艺及操作复杂,甚至还有毒性,会污染环境,使其应用受到限制。随着其它堵漏新方法的出现和发展,它有被取代之势。

**胶凝堵漏** 这种堵漏材料加入泥浆或清水中,可以形成胶凝或胶塞。聚丙烯酰胺类低固相泥浆中常添加的胶凝堵漏材料有醛类、磷酸三烯丙酯、氯化钙、三氯化铁、硫酸铝等有机或无机交联剂;普通泥浆或清水中可加入柴油、膨润土和水泥混合制成的浆液。

**干式堵漏** 这种堵漏材料多为惰性物质。有的则是将化学堵漏浆液制成丸、片使用。堵漏时,将其混入冲洗液或用工具送至漏失带。干式堵漏材料种类繁多,形状各异,有纤维状、薄片状、颗粒状等,可单独使用也可混合使用,其作用都是充塞漏失通道。其中,已实际使用的有纤维状的锯末、丁草、谷壳;薄片状的云母、蛭石、塑料片;颗粒状的棉籽皮、核桃皮、电木粉、砂、石灰石粉等、粘土球、氰凝丸、树脂水泥球、桐油石灰球、特制的堵漏片等亦属此类。另外还有将水泥或干式堵漏材料、堵漏球(丸、片)等装入尼龙袋投至孔内漏失带,再用钻具挤压充塞的干式堵漏法。

**套管隔离堵漏** 下入套管隔离漏水层段。这一般在钻孔揭露特大喀斯特溶洞或地下巷道的情况下采用。

(赵贵祥)

## zuankong wanqu

**钻孔弯曲** (hole deviation) 又称钻孔偏斜,简称孔斜,钻进过程中钻孔实际轴线偏离设计轴线的现象。钻孔弯曲后,往往会歪曲地质和构造情况,不能反映煤层的真实位置和厚度,降低对煤层的控制程度,影响煤层的储量计算。过度的钻孔弯曲,还会给钻进造

成困难,不仅使钻具回转阻力增大、磨损加剧、升降不畅,导致钻进效率降低,成本增加,而且严重时还会引起钻杆折断、卡钻等孔内事故。因此,在生产中把钻孔弯曲是否超限,作为评价钻孔质量的重要指标之一。

造成钻孔弯曲的原因有地质方面的(岩层软硬变化、倾角大小等),也有技术和操作方面的(钻具结构、加压方式、工艺规程等)。地质条件是客观存在的,但采取正确的技术措施,注意合理操作,仍可将钻孔弯曲控制在允许的范围内。具体到某个勘探区,其钻孔弯曲通常都有一定的规律性,因势利导,利用区域性钻孔弯曲规律进行自然造斜,钻进初级定向孔,可变害为利。必要时也可以采用人工受控定向钻进技术,强制性地使钻孔沿设计轴线延深(见定向钻进)。

为及时纠正钻孔方向(纠斜),防止钻孔弯曲超限,并确定钻孔实际轴线在空间的位置(轨迹),以便对由钻孔取得的地质资料进行校正,钻探规范规定,每一钻孔从开孔到终孔,必须每隔一定深度对钻孔弯曲情况进行测量,这项工作称钻孔测斜。在每一个测点取得一组数据,包括①测点深度,即测点与孔口的高差;②测点顶角,即测点处钻孔轴线与过该测点的铅垂线之间的夹角;③测点方位角,即测点处钻孔轴线的水平投影与磁北之间由磁北方向顺时针计算的夹角。近水平钻孔常用倾角代替顶角。测点倾角是测点处钻孔轴线与其水平投影之间的夹角。顶角和倾角互为余角,且在同一铅垂平面内。当钻孔同时存在顶角和方位角偏斜时,常用全弯曲角表示钻孔弯曲的大小。全弯曲角是指某一孔段内,两测点处钻孔轴线延长线之间的空间夹角,它可在一定的简化条件下由顶角和方位角的变化量计算出来。生产中常用弯曲强度来定量地评价钻孔弯曲。弯曲强度是指单位长度孔段内全弯曲角的增减量,单位为 $(^{\circ})/\text{m}$ ,由两端测点的测斜结果计算得出。对应于顶角、方位角和全弯曲角,分别有顶角弯曲强度、方位角弯曲强度和全弯曲强度(用弧度表示时称曲率)。由于测点数量有限,依据这些数据计算出的钻孔空间位置只能是近似的。测量精度越高,测点越密,计算出的钻孔位置与实际位置的误差也越小。

钻孔测斜须借助于专门的测斜工具,即测斜仪。测斜仪型式繁多,各有特点,精度也不相同。在工作原理上,顶角测量常用液面水平或悬垂原理;方位角测量,在非磁性体中利用罗盘,在磁性体中大都用陀螺仪。现有的多数测斜仪都是单点测量,也有一次下孔进行多点测量的测斜仪。以前是利用微型照相机把各次测量的结果保存在胶片上,近年来已研制成功利用数字存储器保存测量结果的新仪器。对于受控定向钻进,最理

想的是随钻测量,目前在生产中已有应用,但仍在发展和完善。

(赵青祥)

## zuankong zhiliang

**钻孔质量** (hole quality) 本义为钻孔本身与工程要求相关且可表征其实用价值的诸特性的总合。

表1 钻探煤层质量标准

| 项目      | 优 质   |         | 合 格          | 不合格           |
|---------|---|---------|--------------|---------------|
| 煤 层 厚 度 | 符合下列条件之一：<br>1. 初见煤（顶末）和止煤（底初）两个回次的岩煤心缺失量的总和并不大于下列规定：   |         |              | 达不到合格标准者，为不合格 |
|         | 煤层厚度<br>（真厚，m）  |         | 缺失量总和<br>（m） |               |
|         | 最低可采厚度<br>~1.30   | 不大于0.20 | 不大于0.30      |               |
|         | 1.31~3.50   | 不大于0.30 | 不大于0.40      |               |
|         | 大于3.50  | 不大于0.40 | 不大于0.50      |               |
|         | 2. 钻探所确定的煤层厚度，经可靠的测井资料验证比较，两者的差值不大于下列规定：  |         |              |               |
|         | 煤层厚度<br>（真厚 m）  |         | 差 值<br>（m）   |               |
|         | 最低可采厚度<br>~1.30   | 不大于0.10 | 不大于0.20      |               |
|         | 1.31~3.50   | 不大于0.20 | 不大于0.30      |               |
|         | 大于3.50  | 不大于0.30 | 不大于0.40      |               |
| 煤 心 采 取 | 符合下列各项条件：<br>1. 按确定的煤层厚度计算煤心的长度采取率 不低于90%   不低于75%<br>2. 按煤心送样质量计算，重量采取率 不低于75%   不低于60%<br>3. 煤层结构清楚，煤心不污染，不燃烧变质，不混入杂物 |         |              |               |
| 煤层深度    | 在煤层顶板以上或底板以下各10m的范围之内已经准确地丈量钻具<br>误差并不大于1.5%，且已合理平差<br>且已合理平差   |         |              |               |
| 原始记录    | 小班原始记录和打煤报告书按表规定的格式和填写要求，及时认真填写，字迹清楚，准确，无涂改现象   |         |              |               |

说明:钻孔设计中要求钻探确定煤层厚度或采取煤心的煤层,均应在现场填写打煤报告书,以便逐层进行验收评级。

但在生产中常指钻探工程质量。通常对竣工钻孔都要按有关质量标准进行全面评价、验收、评级，并以此作为考核钻机组人员技术水平和工作质量的依据。中国

表 2 全孔钻探工程质量标准

| 项目               | 特级孔   | 甲级孔   | 乙级孔    | 丙级孔                 |
|------------------|---|-------|--------|---------------------|
| 一、煤层             | 钻孔设计要求钻探确定厚度、结构和采取煤心的煤层，均按有关规程的要求进行了取样，并且<br><br>其中有三分之二以上（含三分之二）的煤层符合“钻探煤层质量标准”的优质标准，其余均符合合格标准 |       |        | 达不到乙级孔标准又不属于废孔者为丙级孔 |
| 二、岩层             | 钻孔设计要求采取岩心的层段，其分层岩心采取率<br>均比勘探设计（或实施细则）的规定提高10%以上<br>岩心洗净，顺序编号、贴票，装箱妥善保管                        |       |        |                     |
| 三、终孔层位           | 达到钻孔设计所规定的要求  |       |        |                     |
| 四、孔斜             | 按钻孔设计规定的终孔层位的实际深度计算，孔斜度不超过下列规定：   |       |        |                     |
|                  | 终孔层位深度（m）   | 孔 斜 度 |        |                     |
|                  | 300 以内（包括 300）  | 3°    | 5°     | 8°                  |
|                  | 400   | 4°    | 6°30'  | 10°30'              |
|                  | 500   | 5°    | 8°     | 13°                 |
|                  | 600   | 6°    | 9°30'  | 15°30'              |
|                  | 700   | 7°    | 10°30' | 17°                 |
|                  | 800   | 8°    | 11°30' | 18°30'              |
|                  | 900   | 9°    | 12°30' | 20°                 |
|                  | 1000  | 10°   | 13°30' | 21°30'              |
|                  | 1100  | 11°   | 14°30' | 28°                 |
|                  | 1200  | 12°   | 15°30' | 24°30'              |
| 定向斜孔达到钻孔设计所规定的要求 |   |       |        |                     |

续表

| 项目             | 特级孔  | 甲级孔  | 乙级孔                         | 丙级孔                 |
|----------------|--|--|-----------------------------|---------------------|
| 五、<br>简易水文地质观测 | 1. 观测的项目和内容达到钻孔设计或规程规定的要求<br>2. 钻孔设计要求做消耗量和回次水位观测的钻孔。  |  |                             | 达不到乙级孔标准又不属于废孔者为丙级孔 |
|                | 观测次数分别达到应测次数的100%                                      | 取心钻进时的观测次数分别不低于应测次数的80%；无心钻进时分别不低于应测次数的90%，并做到测点分布均匀 | 观测次数分别不低于应测次数的60%，并做到测点分布均匀 |                     |
|                |  |  |                             |                     |
| 六、<br>钻孔封闭     | 按封孔设计要求和钻探规程的规定进行封闭，经取样检查合格并埋标（暗标或明标），提出封孔报告           |  |                             |                     |
| 七、<br>原始记录     | 各项原始记录均按规定的格式内容和填写要求认真填写，做到及时、准确、清楚、完整                 |  |                             |                     |
| 八、<br>其它设计要求   | 有益矿产、专门性采样（如水样、瓦斯样、岩矿样、岩土样等）以及钻孔结构、含水层隔离等，达到钻孔设计所规定的要求 |  |                             |                     |

说明：属于下列情况之一者，即为废孔：

1. 因钻探施工原因，没有达到钻孔的任何设计目的者；
2. 因钻探施工原因，没有达到钻孔的主要设计目的，需要补孔重打者；
3. 钻孔的终孔深度大于 100m，但因钻探原因而没有测斜资料者；或钻孔中的任一测斜点的孔斜度等于或大于 1°，但没有取得系统的方位角资料，使地质资料无法使用者。

煤田地质勘探部门现执行的《煤田勘探钻孔质量标准》中，规定 8 项考核内容，即煤层、岩心、终孔层位、孔斜、简易水文地质观测、钻孔封闭、原始记录、其它设计要求。该《标准》对报废钻孔也作了明确规定（表 1、表 2）。

（赵青祥）

zuanta

钻塔（derrick） 架设在钻场上，安置滑车系统，与钻机的升降机配合升降或悬挂钻具（或套管）用

的专用构架。对钻塔的使用要求主要是：①有足够的高度和承载能力。②便于拆装、运移和维修。③自重尽量小。④制造成本低。增大钻塔高度，可以使用较长的立根，提高钻具升降速度，减少拧卸钻杆接头的次数，从而缩短辅助作业时间，提高工效，但相应会增加钻塔的制造成本和运移、安装费用。通常钻孔越深配用的钻塔也越高，一般钻凿深度在 1500m 以下的地质勘探钻孔时，钻塔高度为 9~23m。钻塔的承载能力也与钻孔深度直接相关，钻孔越深，钻具越重，要求钻塔的承载能力越大。钻塔的安装、运移性能，主要取决于其结构型式。同一型式的钻塔，随着高度和承载能力的增大通常其自重也要增大。

由于要求的承载能力和施工条件不同，钻塔的结构型式和规格有很多。钻塔按其基本结构可以分为四脚钻塔、三脚架、A 型钻塔和桅杆等四种。①四脚钻塔。横截面为正方形或矩形的空间桁架结构，内部空间较大，承载能力强，稳定性好，绷绳仅起保险作用，是重型钻塔的主要型式。其缺点是拆装、运移不够方便。②三脚架。根据塔高不同可设置一组或几组横拉手以提高塔腿的稳定性。这种钻塔结构简单，拆装运移均较方便，但承载能力较小，通常适用于钻凿 300m 以内的钻孔。③A 型钻塔。从整体上看像英文字母“A”的形状，两根主腿用小断面的桁架结构或管子组成，靠绷绳和其它支撑件使之维持直立状态。这种钻塔承载能力较大，自重较小，可以整体起放，安装方便。④桅杆。因其横截面较小，在整体上相当于独脚钻塔。这种钻塔结构型式多样，有整体式的，也有分段折叠或伸缩式的。其承载能力较小，大多数与钻机一起安装在汽车或拖车上，运移最方便，是轻型钻塔的主要型式。但在使用时要靠绷绳和支撑件增强其整体稳定性。

有时按用途将钻塔分为直塔和斜塔两类，前者用于钻进垂直孔，后者用于钻进斜孔，但多数情况下是一塔两用。

历史上曾广泛使用木材制造钻塔，但现代除了轻便的三脚架有时仍用木材或铝合金管材制造之外，一般都用型钢或钢管制造。

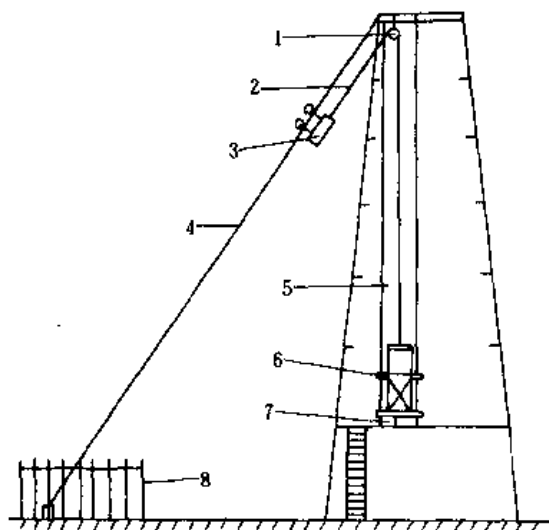
在设计钻塔时，首先按使用要求确定其结构型式和基本参数，然后详细计算在各种工作条件下钻塔所受的外载荷，校核各构件和整体的强度和稳定性。在计算桁架各构件的内力时，过去常用图解法，随着电子计算机的普及，现已开始采用有限元法和优化设计等先进设计方法，不仅计算速度快而且精度高，在减轻钻塔自重，降低材料消耗方面已取得明显效果。

(胡少韵)

zuanta huodong gongzuotai

**钻塔活动工作台 (derrick elevator)** 钻塔中钻具升降作业时使用的可随意升降和定位的小型工作平台。它是 20 世纪 50 年代末中国在开展技术革新活动中的创造，后来在钻探生产中获得广泛应用。

中国各地使用的钻塔活动工作台，在结构上大同小异 (下图)。



钻塔活动工作台结构示意图

1—导向轮；2—牵引绳；3—配重；4—配重导绳；5—导绳；6—活动工作台；7—固定钩；8—护栏

钻塔活动工作台的框架用直径 15~18mm 的钢筋焊成，通常高 1.2m，长 0.6m，宽 0.5m，其顶面敞开，底面焊有底梁并铺有木板，可供一个操作者站立。其四周有三面用固定围栏封住，一面装有可开合的安全栏杆，供操作者上、下。其靠底边 0.1m 的范围内，四周围焊有 2~3mm 厚的钢板，以防台内放置的工具下落伤人。框架左、右两个相对的固定边上，各设一个锁紧手轮或脚闸，通过它可把工作台锁定在导绳的某个位置上，以便操作者工作。框架上方距底板约 2m 处，设一提梁，与牵引绳的一端相连。牵引绳另一端绕过塔顶的导向轮引到塔外、挂上配重。配重可借助自身的滑轮沿配重导绳移动。配重导绳上端固定在钻塔顶梁上，下端固定在埋于地下的木(或铁)桩上。配重导绳与钻塔间留有适当夹角，使配重在移动时不致碰上塔扇。在配重导绳下方设有护栏，使人不能进入，避免配重滑落伤人。配重的大小可按上塔操作者的体重调整，以使工作台升降轻快。当不使用工作台时，要将它降到最下方，再用固定钩挂住，否则在配重作用下工作台会滑到钻塔上方。

使用时,操作者进入工作台内,挂好安全栏杆和安全带,再摘下固定钩,两手轻拉导绳使工作台上移(配重沿配重导绳相应下移),到达工作位置后,用锁紧手轮把工作台锁住即可进行工作。要下降时,手扶导绳用脚猛蹬工作台台板,借助操作者的自重和向下的冲力,即可使工作台断续下移,待工作台降到最下方位置后,操作者把固定钩挂好,再摘下安全带,打开安全栏杆走下工作台。

图中的工作台落在与第一层塔梁固定的一根钢管上,而有的工作台则是降到最下层,固定在基台木上。比较起来,图示方式可使钻塔底层工作空间宽敞些,所以现场应用较多。

(胡少韵)

### zuantanbeng

**钻探泵** (drill pump) 又称泥浆泵,钻进时用于将冲洗液送入钻孔形成循环流动,以达到冷却钻头、排除岩屑、维护孔壁等目的的专用机械。钻探泵有时还作为驱动涡轮钻具、螺杆钻具或液动冲击器等进行钻进的动力机。它是主要钻探设备之一,与钻探机配套使用。

**种类** 按其工作原理基本可分为动力式及容积式两大类。①动力式泵,包括离心泵、轴流泵、叶轮泵等,通过将液体运动速度变化转化为压力变化而完成液体吸排,适用于排量较大而泵压较低场合。②容积式泵,包括往复泵、螺杆泵、齿轮泵、叶片泵等,靠改变密封泵室的容积,引起液体压力变化实现液体吸排,适于在排量较小、泵压较高的情况下使用。在钻探施工中,采用反循环方式钻进大口径浅钻孔时,常用的砂石泵和喷射泵属于动力式泵;在岩心钻探等小口径深孔钻进时,通常都用往复泵、螺杆泵等容积式泵。

**岩心钻探对泵的要求** ①能产生较高的泵压,克服较大的阻力,维持钻孔冲洗液的循环流动。②能在泵压变化很大的情况下维持一定的冲洗液排量,保证排除岩屑所要求的冲洗液上返速度。③排量可以在一定范围内调节,能适应不同钻进条件的要求。④坚固耐用,尤其是与冲洗液接触的零件应耐磨、抗腐蚀,能长时间吸排含有泥砂和岩屑等的冲洗液。⑤配备有超载保护装置及压力指示仪表。⑥结构简单、维修方便。⑦体积小、重量轻、易搬迁。基于这些要求,经过专门设计的容积式泵中的往复式泥浆泵,在岩心钻探中获得广泛应用。

**往复式泥浆泵的分类** 往复式泥浆泵按推动冲洗液元件的形状分为活塞泵和柱塞泵;按一次往复运动中的吸排液作用次数分为单作用式和双作用式,活塞

泵可以是单作用式也可以是双作用式,柱塞泵只有单作用式;按工作缸的数目分为单缸泵、双缸泵、三缸泵和多缸泵;按工作缸在机体上的布置方式分为卧式和立式。岩心钻探中最常用的泥浆泵是卧式双缸双作用往复式活塞泵和卧式三缸单作用往复式柱塞(或活塞)泵(参见彩图插页第38页)两种。

**往复式泥浆泵的结构** 往复泵主要由动力端和液力端两大部分组成。动力端的功能是接受动力机的驱动,并将旋转运动变换为直线往复运动。液力端的作用是在吸排液阀门的配合下,利用活塞或柱塞在泵缸内的往复运动,使其作用容积增大造成负压吸入液体,或使作用容积减小造成升压排出液体。单作用式往复泵因吸液和排液分别在两个行程中完成,其排液过程有明显的间断。为使单作用泵实现连续排液,可设置两个泵缸并使两个活塞的运动相差 $180^\circ$ ,或设置三个泵缸使三个活塞的运动彼此相差 $120^\circ$ 。以前的往复式泥浆泵排量都是固定的,为扩大其使用范围,通常配备两三种直径的活塞和缸套,通过改换缸径来满足对排量和压力的不同要求。现在的变量泥浆泵,可在工作过程中根据需要方便地调节活塞每分钟的往复次数,达到改变排量的目的。其结构有两种形式,一是在动力端的曲轴箱中增加变速机构;二是在泵与动力机之间增加一个独立的变速箱。前者的变量档数较少,后者变量范围大、档数多。为降低制造成本,多借用大批量生产的汽车变速箱。往复泵的排液压力随管路阻力的变化而自动升降,但其最大压力已由安全阀设定,超过限度会自动泄流降压,以确保安全。

往复式泥浆泵的结构已基本定型,产品也已系列化,其进一步发展主要是继续寻求提高活塞、柱塞、缸套、阀门等易损件耐用度的方法;研制便于调整和更换的密封装置;在保证一定排量和泵压的前提下进行轻便化等。三缸单作用式泵比双缸双作用式泵的排量脉动小,易损件少,密封调整方便,应用范围逐渐扩大。

(赵贵祥)

### zuantan gongju

**钻探工具** (drilling tool) 钻探施工中所使用的各种工具的统称。按其用途大致可分为钻进工具、钻进附属工具、处理事故工具和普通工具等四大类。其中前三类为专用工具。

**钻进工具** 简称钻具,直接用于钻进过程中给钻头传递扭矩和钻压,向孔底输送冲洗液的各种专用器具,包括钻头、扩孔器、稳定器、岩心管、钻杆、钻铤(加重钻杆)、各种接头、接箍以及绳索索取心钻具、冲击



回转钻具、螺杆钻具、涡轮钻具、孔底电动钻具等一些完整的工具总成。此外,还有下入钻孔内用以保护孔壁的管材套管。钻具的具体组合情况主要取决于钻进方法。

**钻进附属工具** 配合钻进及钻具升降作业使用的专用器具,主要指①提引类工具,包括提引水接头、提引器、提引接头、提引梁、提引钩、复式动滑轮等;②夹持类工具,包括垫叉、各种夹持器、夹板等;③拆卸类工具,包括管钳、链钳、自由钳、鳄鱼钳、专用钩扳手等。

**处理事故工具** 用于处理孔内事故的各种专用工具。常用的有打捞用的丝锥、割管器、安全锁接头等,此外还有一些专门制作的特殊工具。

**普通工具** 用于机械维修、设备拆迁、平整场地、修筑地基等工作的通用钳工工具、土木工具等。

有人将用于机械拆卸钻杆的拧管机和强力起拔孔内被卡钻具的起管机也归入钻探工具,但一般认为它们应归入附属设备。

(赵贵祥)

zuantanji

**钻探机 (drill)** 简称钻机,钻凿地质勘探、工程勘察钻孔的专用机械。它能够驱动、控制钻具向地下钻进,并能升降钻具,有的还能采取岩心、煤心和液(气)态样品。钻机的种类很多,可以从不同角度进行分类。按所采用的钻进方法,钻机分为冲击式、回转式、振动式和复合式等四类(见钻探设备)。

**冲击式钻机** 利用冲击机构的冲击功钻凿钻孔的专用机械。它在历史上使用最早、延续时间最长。目前,钻杆冲击式钻机已淘汰,钢绳冲击式钻机仍在钻凿大口径水井或工程施工中使用。这类钻机由动力机、传动装置、冲击机构、卷扬机和桅杆式钻塔等部分组成。其中,冲击机构是进行冲击钻进的关键部件,它依结构形式分为曲柄连杆游梁式、曲轴超越离合器式和液压式。冲击机构要求①能将足够重的冲击钻头提到必要的高度,以保证钻头获得破碎岩石所需要的冲击势能;②可以根据岩层和孔内情况灵活、方便地调整冲程和冲次(频率),以使钻头不受阻滞地落到孔底,进行有效的冲击;③工作时,钻机振动小,必要时应设置缓冲器;④在提起钻头和向下冲击这两个行程中,动力机的负载差别不宜过大。

**回转式钻机** 利用回转器驱动钻杆,带动钻头回转钻凿钻孔的专用机械。它在钻机行列中占绝对优势。通常具有回转、给进、升降、拆卸等执行机构,通过传动系统将动力分配给各执行机构,并使之具有所要求

的技术特征。各部件通过机座构成一个整体。现代回转式钻机,还配备有监测钻进参数的仪表(见钻进参数仪)。

**回转机构** 一般是指钻机的回转器,有立轴式、转盘式和动力头式等三种,此外,还有与主机分开的孔底动力机,即将回转机构放在孔底,直接驱动钻头回转(钻杆柱不转动)。回转机构要满足下列要求,①回转速度和扭矩有适当的变化范围和档数,以适应孔内钻进条件多变和进行特殊作业的要求;②能根据使用要求,钻进不同方向的钻孔;③在回转器通孔不能通过粗径钻具时,应能让开孔口。

**给进机构** 用以给钻具加压或减压,从而调节孔底钻压的机构。曾广泛使用的靠人力操纵的手把给进机构现今在勘探钻机已被淘汰,仅在一些微型取样钻机上为简化结构偶尔应用。利用钻具自重进行主动给进的方式,多用于深孔转盘式钻机。应用最广的是液压给进机构。对给进机构的要求是,①能较准确地无级调整钻压和给进速度;②用于钻进中深孔的钻机,既要能加压又要能减压;③有足够的起拔能力,以便在处理孔内事故时进行强力起拔或发现异常情况时能迅速将钻具脱离孔底;④能随时反映孔内情况的变化,以便操作者及时作出分析和判断;⑤尽可能缩短倒杆的辅助时间。

**升降机构** 用以升、降钻具的机构。普通立轴式和转盘式钻机上用的升降机,属于机械式;全液压钻机用的升降机构属于液压式。动力头式钻机的升降机构常与给进机构合而为一。升降机构要求①提升速度能随提升负载的逐渐减小而增大,以最大限度地缩短升降工序所占的时间,提高设备的功率利用率;②升降机的布置应有利于排绕钢丝绳;③操作机构灵活,制动平稳可靠,其设置位置应便于操作者观察孔口。

**拆卸机构** 升降钻具时,用以拆卸钻杆的机构。转盘式和动力头式钻机的回转器常兼作拆卸机构使用;立轴式钻机则需配备液压卸管器或单独的拧管机。拧管机有机械式、电动式和液压式等三类。其中,液压式拧管机应用较广(见拧管机)。拆卸机构要求①能方便、灵活地进行正反转控制;②具有较大的卸管扭矩,能顺利卸开第一扣;③有完善的过载保护装置;④拆卸钻杆时,应使钻杆有沿轴向移动的可能;⑤密封性能好,能防止泥浆进入机体内。

**传动系统** 将动力机的驱动力传递并分配给钻机各执行机构的装置系统。它有机械传动和液压传动两种主要类型,少数钻机还采用气压传动。实用中,常将机械传动与液压传动形式结合起来运用,以获得良好的综合性能。在一定意义上讲,钻机总体设计的核心就

是拟定传动系统,它直接影响钻机的技术经济指标。传动系统要求①能方便地接通、分配或断开动力;②根据钻探工艺的不同要求,能改变运动形式、速度和力的大小及方向;③工作可靠,有过载保护功能;④结构简单、拆装方便、操作集中。

**机座** 用以将钻机各机构联结成一体的基础构件。其型式与钻机的工作环境和工作方式密切相关。地面钻机多用座箱式,坑道钻机多用支柱式。采用开合方式让开孔口的钻机常用整体式机座;采用后移方式让开孔口的钻机则必须分为机架和底座两部分,上部的机架可以沿着底座的导轨前后移动。机座除用以支承其它各部件之外,还用于将整台钻机与基础固定连接。机座的受力情况复杂,设计时要认真分析计算,以保证其具有足够的强度、刚度和稳定性。

**振动式和复合式钻机** 单纯的振动式钻机很少,通常都是以动力头式钻机或转盘式钻机为基础,附加冲击器、振动器等部件而构成复合式钻机。这类钻机主要用于在第四纪砂、土、卵砾石层和风化、半风化基岩中钻凿较密集的浅孔,受工作环境和环保规定的限制较大,要求①能兼用两种或更多种的钻进方法、多种循环方式及不同的冲洗介质,即具有多种功能;②除用以完成钻进工作之外,还可进行部分孔内测试;③便于频繁移位对孔;④环境污染小。

**发展趋势** 钢绳冲击式钻机由于结构简单、价格低廉,目前仍在使用的,但工作效率较低,有逐步被具有潜孔锤钻进功能的钻机取代的趋势。具有自行功能的复合式钻机,在工程钻探中也将得到发展。回转式钻机的三种机型在不同国家、不同部门的应用情况有明显差别。目前,全液压力头式钻机的优越性已得到普遍承认,但人们对钻机的发展方向仍有不同见解。一种意见认为,应该用全液压力头式钻机取代机械传动钻机;另一种意见则主张,在对机械传动钻机作进一步改进、完善的同时,发展全液压力头式钻机。

在钻机的设计和制造方面,为增强产品的竞争能力,制造厂家采取了更灵活的态度,主要表现在①对钻机的专用部件进行标准设计,通用性较强的部件选购专业厂家的大批量产品,使新产品的的设计周期缩短,生产设备减少,产品成本下降,并便于组织配件供应;②一种钻机配多种回转器,可根据不同的钻进要求进行更换,动力机功率大小和种类、钻机的技术参数等,都可以根据用户要求供应变型产品;③在提高产品质量的同时,积极开展对用户的技术服务,促进新型钻机的推广应用。

(胡少韵)

zuantan shebei

**钻探设备** (drilling equipment) 钻孔施工所使用的地面设备的总称,包括钻探机(简称钻机)、泥浆泵、动力机、钻塔及其它一些附属设备。其中,钻探机是主机。

动力机驱动钻机,使钻具作旋转、往复运动、振动等规律性的运动,通过钻头破碎岩石形成钻孔。为提取岩心或更换钻头,需要升降和拧卸钻具。当用升降机(又称绞车、卷扬机)升、降钻具时,要有钻塔与之配合,以便悬挂滑车系统,并常用拧管机实现钻杆拧卸的机械化。动力头式钻机不需钻塔和拧管机。泥浆泵的功用是向钻孔内输送冲洗液,以清洗孔底,排出岩屑,冷却钻头,润滑钻具和维护孔壁。在使用螺杆钻具和涡轮钻具等孔底动力机进行钻进时,冲洗液还兼作传输动力的介质。岩层简单时,常用清水作冲洗液;遇到岩层破碎、容易坍塌或吸水膨胀等情况,要使用经专门处理的泥浆。为保证泥浆性能,常需配备泥浆搅拌机和泥浆净化设备。如采用压缩空气或泡沫等气液混合物作冲洗介质,还要配备压风机。钻探设备的成套性并非一成不变的。

**分类** 为满足不同钻探目的、施工条件和技术经济指标的要求,人们制造了多种具有不同特点的钻探设备。这些设备,可以从不同角度加以分类。由于钻机是主机,因而钻探设备主要也是根据钻机的特点进行分类。按用途不同,钻探设备可分为:石油、天然气勘探开发用钻探设备,固体矿产勘探用(即岩心钻探用)钻探设备,水文地质调查和地下水开采用钻探设备,工程地质勘查用钻探设备,坑道钻探用钻探设备和工程施工用钻探设备等。按钻进方法,钻机可分为:冲击式(钢绳冲击式、钻杆冲击式)钻机,回转式(立轴式、转盘式、动力头式)钻机,振动式钻机和复合式(振动、冲击、回转和静压等方法的不同组合)钻机。其中,以回转式钻机用量最大。对于孔底动力机,有人认为是一种钻机,也有人认为只是一种钻具。

钻机结构型式的选择,与其用途和采用的钻进方法密切相关。在开发石油和天然气时,由于钻孔深,口径较大,多选用转盘式钻机;固体矿产勘探钻孔口径较小,所遇岩石可钻性变化大,常选用工艺适应性较强的立轴式钻机;水文与水井钻探常在卵、砾石层中钻凿较浅的大口径钻孔,搬迁较频繁,一般都选用转盘式或复合式钻机,并且多采用车装方式;工程勘查钻孔多在第四纪表土层中钻进,钻孔浅而密,选用车装复合式钻机较合适;坑道钻探空间狭小,设备搬迁困难,钻孔角度变化大,以选用动力头式钻机效果最好。

**发展沿革** 中国应用钻探技术已有 2200 多年的





历史。早在 11 世纪中期,即开始使用由人力或畜力驱动的机械,进行绳式冲击钻进钻凿盐、水井。到 14 世纪,钻井设备和工具已臻成熟。而在欧美国家,直到 19 世纪初才使用类似的绳式冲击钻井设备,只是在制造材料上有所不同。随着资本主义经济的发展,19 世纪 60 年代,首先在欧洲出现了金刚石回转取心钻进方法和结构简单的立轴式钻机。接着,在欧美国家出现了用蒸汽机驱动的同类型钻机,并从 19 世纪 80 年代开始大范围推广使用。至 20 世纪初,现代立轴式钻机已具雏形。稍后,为满足石油钻探的要求,出现了转盘式钻机。

近代中国的机械岩心钻探,是从河南焦作发展起来的。1900 年前后开始使用单缸水力加压的蒸汽钻机,后来又引进了手摇钻机,钻进能力在 200 m 以内。20 世纪 30~40 年代中期,手把给进的立轴式钻机得到应用,其立轴转速一般在 100 r/min 左右,动力机为煤油机或柴油机,个别矿区配有电动机。在此期间,中国许多地区仍用手摇钻机和少量蒸汽钻机。1947 年,从美国长年公司购进 10 台转速较高的金刚石钻机和 9 套钻具,配有汽油机,最大钻进能力为 500m。到 1949 年,全国共有各种型号的钻机 100 台左右。

中华人民共和国成立后,中国的钻探设备经历了 50 年代引进仿制,60 年代自行研制,70 年代开始蓬勃发展的历程。现在,手把式钻机已淘汰,新型高转速大通孔液压给进立轴式钻机全面推广,全液压动力头式钻机在坑道钻探中已占据主导地位。三缸单作用变量泥浆泵已基本取代双缸双作用定量泥浆泵。其它钻探设备也有很大改进,尤其是工程钻机品种明显增多。

在此期间,国外的钻探设备又有很大发展。自 60 年代出现全液压动力头式钻机之后,其应用范围不断扩大。立轴式钻机和转盘式钻机经不断改进,性能也大有改善。

**发展趋势** 立轴式钻机作为地面岩心钻机的主导机型,转盘式钻机作为低速大扭矩钻机的基本型式,全液压动力头式钻机继续发展并在一定范围内取代上述两种钻机,这一基本趋势在近几十年内不会改变。但另一方面,钻探设备在结构和使用性能上还会不断完善和提高。随着钻探新工艺、新方法的出现,在充分利用已有设备的同时,还会开发出一些新型设备。多功能钻机、车装钻机、深孔钻机所占的比例将增大。钻机自动功能将逐步增加。全自动钻机和遥控钻机虽然已有样机问世,但因其造价太高,将仅限于在特殊条件下使用。

## 参考书目

刘广志等,《金刚石钻探手册》,地质出版社,1991。

杨惠民等,《钻探设备》,地质出版社,1988。

(胡少韵)

zuantan xiaolu

**钻探效率** (drilling efficiency) 钻孔施工中,一定钻探作业时间内的平均钻进速度。它是评价钻探施工和管理水平的指标之一。由于钻探施工的复杂性,在评价钻探施工和管理水平时,仅以钻进速度来衡量难以概括全面,还要考虑时间利用率、钻孔质量、每米进尺的成本,以及岩层条件、钻孔深度等方面。

煤田岩心钻探施工的三个阶段有不同的作业内容,①准备阶段,选定孔位、平整场地、铺设机台、埋设孔口管、安装钻探设备、准备各种管材,以及开钻前的试运转等;②施工阶段,从开孔钻进到终孔所进行的正常钻进、设备检修、事故处理和非自然原因停钻等各项工作。正常钻进还可再分为纯钻进(钻头接触孔底进行碎岩工作)及必要的辅助作业(加減钻杆、升降钻具、采取岩(煤)心、冲扫钻孔、扩孔、下套管及止水、简易水文观测、孔深丈量校正、钻孔弯曲测量、清理循环系统等);③结束阶段,包括:测井、起拔套管、封孔、拆迁钻探设备等。所有三个阶段内的这些工作内容,各都占用一定的作业时间,但只有纯钻进才能延深钻孔,所以,增加在总作业时间中纯钻进时间所占的比例(相对减少辅助作业和非生产时间),是提高钻探效率的关键之一。高效长寿命站头的研制、绳索取心钻进的推广、钻具升降工序的机械化和自动化、加强生产管理、防止事故发生等,都是为了这一目的。

一台钻机自开工至完工的全部作业时间,包括钻探作业时间和非钻探作业时间的总和(以小时计),称钻探作业总台时。其中,用于钻进时间的总和(以小时计),称钻探作业台时。钻探作业台时包括纯钻进台时(钻头接触孔底后,向下钻进增大孔深的时间)、辅助台时(钻机正常生产过程中必须做的一些辅助工作的时间)和事故与停钻台时(孔内事故、机械事故、停钻时间)。一台钻机钻探作业总台时满一个月(按 720 小时计),称一个钻月;钻探作业台时满一个月(按 720 小时计),称一个台月。

钻探效率按不同计算时间可分为钻月效率、台月效率和台时效率等三种。

**钻月效率** 简称钻效,一台钻机工作一个钻月所完成的钻探总进尺数(单位:m/钻月)。它是我国煤田地质系统制定的计算钻探效率的指标。采用这项指标的优点是,能促使勘探队在钻探施工全过程中全面地

考虑减少非生产时间,以提高生产率,特别是要在设备的安装、拆迁、测井、起拔套管、封孔等环节上争取高速度,从而使计划更加周密,使劳动生产组织更加有效合理,并通过采取一系列措施和建立各项规章制度和科学化管理达到提高钻月效率的目的。

**台月效率** 简称台效,一台钻机工作一个台月所完成的钻探总进尺数(单位:m/台月)。它是中国各钻探施工部门统一的计算钻探效率的指标,通常作为制订钻探施工计划和定额的主要参考。

台月效率虽然是一个综合性的生产效率指标,但只能在同一地区或类似的条件下才能进行比较。在不同地区或不同条件下还要考虑所钻岩石的性质、岩层复杂程度、钻孔深度、钻孔质量和钻孔成本等方面。

**台时效率** 简称时效,钻机在一小时纯钻进时间内所完成的进尺数(单位:m/h)。出于不同的需要,时效可分为瞬时时效和平均时效。其中,平均时效根据不同的平均时间又可分为回次平均时效、月平均时效、全孔平均时效及分层平均时效等。时效反映了钻头在孔底的工作情况,并与岩层岩石可钻性、钻进方法、钻进参数、操作人员的技术水平等有直接关系。时效通常与钻头使用寿命联系起来对钻头结构设计的合理性和制造质量进行评价。

此外,根据原始钻探报表统计出的钻探作业台时及纯钻进台时、事故与停钻台时、孔内事故台时、机械事故台时,可以算出纯钻进时间利用率、事故与停钻率、孔内事故率、机械事故率并进行时间分析,找出问题所在,采取相应措施予以改进或解决。

(赵贵祥)

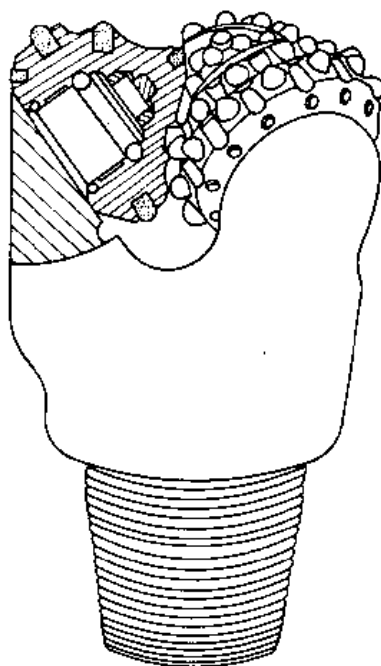
zuantan zuantou

**钻探钻头** (drill bit) 在钻探施工中,用来破碎岩石、形成钻孔的工具。

**分类** 钻探钻头的分类方法很多,按用途分为取心钻头和不取心钻头;按破碎机理分为切削型钻头、磨削型钻头、冲击(或冲击回转)型钻头;按切削具种类分为硬质合金钻头、金刚石钻头、钻粒钻头、牙轮钻头(右上图)。

**特点** 取心钻头呈筒状,钻进时可形成岩心;不取心钻头为实体,可对孔底岩石进行全面破碎。金刚石钻头通常由金刚石切削具、胎体、钻头钢体等三部分组成;硬质合金钻头由硬质合金和钻头钢体两部分组成;牙轮钻头由牙轮、牙轮爪、轴承及钻头体等部分组成;钻粒钻头由钻粒(钢粒或铁砂)和钻头体组成,但二者并不连结在一起。

**适用条件** 金刚石钻头适用于各类岩层钻进;硬



镶齿牙轮钻头示意图

质合金钻头适合钻进软、中硬和软硬互层的岩层;牙轮钻头在坚硬、极坚硬、硬脆、打滑及高研磨性岩层中钻进,具有良好效果;钻粒钻头曾广泛用于硬和坚硬岩层钻进,但现已基本被金刚石钻头所取代。同一类钻头改变唇面形状和切削具排列方式,可以适应不同岩层钻进需要(见金刚石钻头,硬质合金钻头)。

**发展概况** 钻探钻头经历了一个漫长的发展过程。中国在2000多年前就用锄、铲、凿了钻凿盐井,至宋代出现了各式各样的“铤”、“洛阳铲”、“麻花钻”等。古埃及曾在建造金字塔时,用金刚石在石材上钻孔。1862年,瑞士人J. R. 里舒特(J. R. Leschot)做成世界上第一个手镶金刚石钻头。1889年,铁砂作为破碎坚硬岩石的工具在钻探中得到应用。1920年前后,硬质合金用作钻头切削具。1935~1937年间,开始用粉末冶金方法制作金刚石钻头。中国从20世纪60年代开始研制金刚石钻头并逐步得到推广使用。

煤田地质钻探中,由于岩层岩性多变,且软硬相差悬殊,因而所用钻头具有多样性。在新型硬质合金切削材料未出现之前,在很多情况下,将用金刚石复合片钻头、金刚石表镶或孕镶钻头、牙轮钻头来完成大多数岩层的钻进。

#### 参考书目

刘广志等,《金刚石钻探手册》,地质出版社,1991。  
周国荣,《中国钻探发展简史》,地质出版社,1982。

(李岳)

測

量



# B

bianjiao celiang

**边角测量** (triangulation) 在地面上选定一系列点构成连续的三角形, 采取既测角又测边的方式推算各三角形顶点平面位置的方法, 又称“边角同测法”, 是建立矿区平面控制网的方法之一。其实质是三角测量和三边测量的组合, 实际应用时有边角同测、三角网加测边和三边网加测角三种形式:

(1) 边角同测。即在连续三角形中测量所有角度和边长, 形成完全边角网。由于测角对方向误差有所控制, 测边可有效地控制长度误差积累, 边角同测可充分发挥两者的优点, 使全网点位精度较高, 优于三角测量及三边测量, 但观测工作量较大, 故仅在精度要求很高的特殊工程测量中采用。

(2) 三角网加测边。即在三角网中加测部分边, 用以控制长度误差, 是提高三角网(锁)精度的一个有效途径。

(3) 三边网加测角。即在三边网中加测部分角, 用以控制方向误差并增加了三边网检核条件。

按上述形式建立的矿区平面控制网统称为边角网, 其测量时的技术要求与相应等级的三角测量、三边测量技术要求相一致。边、角施测精度应匹配, 一般为同级。

(李斐望)

bianjiaowang pingcha

**边角网平差** (adjustment of triangulation network) 选定边角网中角度(或方向)观测量和边长观测量的函数为未知数, 利用它们之间的函数关系, 依最小二乘准则和求极值的方法, 解算得未知数和观测值的最或然值所进行的计算工作。

边角网平差常用边角网条件平差和边角网间接平差(或坐标平差), 当待定点个数较多且网形结构较简单时, 宜用条件平差。

边角网条件平差 主要任务是准确地列出网中以观测角度(或方向)和观测边长及其改正数表示的独立

条件方程, 再组成法方程, 求得各观测边长和观测角度(或方向)的改正数。

边角网条件总数  $r$  等于多余观测的个数时, 可按  $r = n - 2P$  计算, 式中  $n$  为测边和测角总数;  $P$  为待定点个数。应用此式时, 应注意当网中已知点个数少于两个时, 应从待定点个数中减去已知点个数与 2 之差后再计算  $P$ ; 从测边数中减去 1 后再计算  $n$ 。条件式的种类有: 由多余观测角引起的图形条件、水平条件和极条件; 由多余观测边长引起的复杂图形条件; 由多余观测边长和角度共同引起的边条件(正弦条件和余弦条件); 由多余起算数据引起的控制条件、坐标方位角条件、基线条件和坐标条件。

上列各条件中的图形条件、水平条件、极条件、坐标方位角条件、基线条件、坐标条件的列立见三角网条件平差, 复杂图形条件方程的列立见三边网条件平差。

边条件方程列立 有正弦条件方程和余弦条件方程。

(1) 正弦条件方程。图 1 所示的边角网为一个单三角

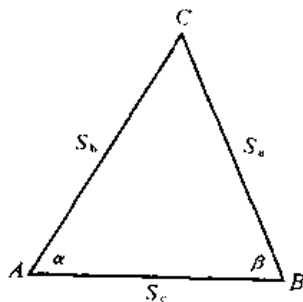


图 1 边角同测三角形之一

形  $ABC$ , 已知  $A$  点坐标和  $AC$  边坐标方位角, 观测了角  $\alpha$ 、 $\beta$  和边长  $S_a$ 、 $S_b$ , 以  $\hat{\alpha}$ 、 $\hat{\beta}$ 、 $\hat{S}_a$ 、 $\hat{S}_b$  表示其相应的平差值, 以  $v_\alpha$ 、 $v_\beta$ 、 $v_{S_a}$ 、 $v_{S_b}$  表示其相应的改正数。由于该图形有多余观测, 有一个条件方程式, 此条件要求两边长平差值之比应等于其对应角平差值正弦之比, 即

$$\frac{\hat{S}_a}{\hat{S}_b} = \frac{\sin \hat{\alpha}}{\sin \hat{\beta}} \quad (1)$$

通常称此条件为正弦条件。将其线性化,用观测值及改正数代入并按泰勒级数展开,取至一次项,得正弦条件方程式:

$$\begin{aligned} \frac{S_b}{\rho} \cos \alpha v_a + \frac{S_a}{\rho} \cos \beta v_b + \sin \beta v_{\alpha} \\ - \sin \alpha v_{\beta} + w = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$w = S_a \sin \beta - S_b \sin \alpha$$

计算时应注意式中各项单位保持一致,通常  $v_a$ 、 $v_b$  以 (") 为单位;  $S_a$ 、 $S_b$  以 km 为单位;  $v_{\alpha}$ 、 $v_{\beta}$  和  $w$  以 dm 为单位;  $\rho$  取 20.63。

(2) 余弦条件方程。如图 2,若观测了三条边长  $S_a$ 、 $S_b$ 、 $S_c$  和一个角  $\alpha$ ,此时有一个多余观测,产生一个条件方程,此条件要求由三条边长平差值按余弦定理算出的角度值应等于该角的平差值,即

$$\hat{\alpha} = \arccos \frac{\hat{S}_b^2 + \hat{S}_c^2 - \hat{S}_a^2}{2\hat{S}_b\hat{S}_c} \quad (3)$$

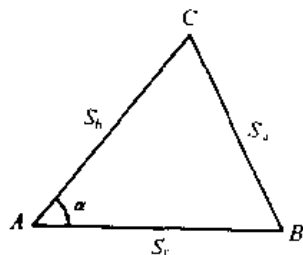


图 2 边角同测三角形之二

此条件称为余弦条件。将其线性化得余弦条件方程:

$$\begin{aligned} \frac{\sin \alpha}{\rho} v_a - \frac{S_a}{S_b S_c} v_{\alpha} + \frac{S_a}{S_b S_c} \cos \alpha v_{\beta} \\ + \frac{S_a}{S_b S_c} \cos \beta v_{\gamma} + w = 0 \end{aligned} \quad (4)$$

$$w = (\cos \alpha_{\Delta} - \cos \alpha) \times 10^4$$

式中  $\alpha_{\Delta}$ 、 $\beta_{\Delta}$ 、 $\gamma_{\Delta}$  是由观测边长值  $S_a$ 、 $S_b$ 、 $S_c$  按余弦定理算出的角度值;  $v_{\alpha}$  以 (") 为单位;  $v_{\beta}$ 、 $v_{\gamma}$ 、 $v_{\delta}$  以 dm 为单位;  $S_a$ 、 $S_b$ 、 $S_c$  以 km 为单位;  $\rho$  取 20.63。

边角权的确定 边角网中,边长和角度这两个观测值属不同类别,量纲也不同。平差时,观测值的权可按下式计算:

$$\left. \begin{aligned} p_{\beta} &= \frac{C}{m_{\beta}^2} \\ p_{\delta} &= \frac{C}{m_{\delta}^2} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

由于以边角网作为工程控制网时的点位误差较均匀,

故一般取

$$\frac{m_{\beta}}{\rho''} = \frac{m_{\delta}}{S} \quad (6)$$

即

$$m_{\delta} = S \frac{m_{\beta}}{\rho''} \quad (7)$$

对边角元素共同平差时,权的计算公式:

$$\text{按方向平差时} \quad p_{\beta} = 1, \quad p_{\delta} = \frac{m_{\beta}^2}{m_{\delta}^2}$$

$$\text{按角度平差时} \quad p_{\beta} = 1, \quad p_{\delta} = \frac{m_{\beta}^2}{m_{\delta}^2}$$

上列条件方程可写成一般形式:

$$\begin{aligned} a_1 v_a + a_2 v_b + a_3 v_{\alpha} + a_4 v_{\beta} \\ + a_5 v_{\gamma} + a_6 v_{\delta} + w = 0 \end{aligned}$$

用矩阵形式表示:

$$\begin{aligned} AV + W = 0 \quad (8) \\ A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_t \\ b_1 & b_2 & \cdots & b_t \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_1 & r_2 & \cdots & r_t \end{bmatrix} \\ V = (v_a, v_b, \cdots, v_{\alpha}, v_{\beta}, v_{\gamma}, v_{\delta})^T \\ W = (w_a, w_b, \cdots, w_t)^T \end{aligned}$$

式中  $n$  为观测值个数;  $t$  为未知数个数。

法方程解算 由条件方程式 (8) 根据最小二乘准则和求条件极值的方法得:

$$PV - A^T K = 0 \quad (9)$$

式中  $P = (p_a, p_b, \cdots, p_{\alpha}, p_{\beta}, p_{\gamma}, p_{\delta})^T$  为角度观测值和边长观测值的权阵;  $K = (k_a, k_b, \cdots)^T$  为联系数。用  $P^{-1}$  左乘式 (9), 得

$$V = P^{-1} A^T K \quad (10)$$

此式为改正值方程,联立解式 (9) 和 (10) 可求得联系数  $K$  和改正值  $V$ , 为此组成法方程:

$$AP^{-1} A^T K + W = 0 \quad (11)$$

令  $N = AP^{-1} A^T$ , 有  $NK + W = 0$ , 则

$$K = -N^{-1}W \quad (12)$$

解算出  $K$ , 便可由式 (10) 求得改正值  $V$ , 从而求得边长和角度 (或方向) 观测值的平差值。

精度评定 包括单位权中误差计算和平差值函数中误差计算。

(1) 单位权中误差计算。

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]_{\delta} + [pvv]_{\beta}}{r}} \quad (13)$$

$[pvv]_{\delta}$  为边长改正数  $v_{\delta}$  的平方与相应权  $p_{\delta}$  乘积之和;  $[pvv]_{\beta}$  为角度改正数  $v_{\beta}$  的平方与相应权  $p_{\beta}$  乘积之和。



(2) 平差值函数中误差计算。设  $\beta_i$  和  $S_i$  为角度和边长平差值, 平差值函数为:

$$F = f(\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n, S_1, S_2, \dots, S_n)$$

其权函数式为:

$$\Delta F = f_1 v_{\beta_1} + f_2 v_{\beta_2} + \dots + f_n v_{\beta_n} + f'_1 v_{S_1} + f'_2 v_{S_2} + \dots + f'_n v_{S_n} \quad (14)$$

得平差值函数的权倒数为:

$$Q_{FF} = \frac{1}{p_F} = \left[ \frac{ff'}{p} \right] \quad (15)$$

可由平差值函数权逆阵主对角线上的元素  $Q_{ii}$ , 求得各平差值函数中误差:

$$m_{F_i} = m_0 Q_{ii} \quad (16)$$

**边角网间接平差** 主要任务是列出以未知数(一般是待定点坐标)为边长和角度观测值函数的误差方程, 再组成法方程并进行解算, 直接得出边角网点坐标的最或然值, 进而求得边长和角度观测值的平差值。边角网误差方程个数等于观测边数和观测角数(或方向数)总和。边角网间接平差时, 两类观测量权比确定方法见边角网条件平差。

**误差方程列立** 包括观测角度(或观测方向)误差方程、观测边长误差方程。

(1) 观测角度误差方程。如图 3 所示, 设三角网角度观测值为  $L_i$ , 则其观测值方程为:

$$L_i + v_i = \alpha_{jk} - \alpha_{jh}$$

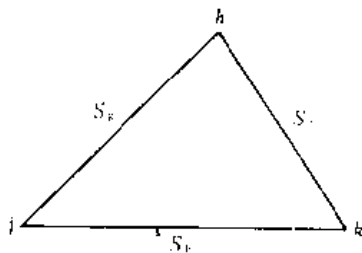


图 3 边角同测三角形

其误差方程为:

$$\begin{aligned} v_j &= \delta \alpha_{jk} - \delta \alpha_{jh} + l_j \\ &= (\alpha_{jk} - \alpha_{jh}) \delta x_j - (b_{jk} - b_{jh}) \delta y_j \\ &\quad - a_{jk} \delta x_k + b_{jk} \delta y_k + \alpha_{jh} \delta x_h \\ &\quad - b_{jh} \delta y_h + l_j \quad (17) \\ a_{jk(h)} &= \rho'' \frac{\sin \alpha_{jk(h)}^0}{S_{jk(h)}^0} \\ b_{jk(h)} &= \rho'' \frac{\cos \alpha_{jk(h)}^0}{S_{jk(h)}^0} \\ l_j &= \alpha_{jk}^0 - \alpha_{jh}^0 - L_j \end{aligned}$$

式中  $\delta \alpha_{jk}$ 、 $\delta \alpha_{jh}$  为近似坐标方位角改正数;  $\alpha_{jk}^0$  和  $\alpha_{jh}^0$  是由近似坐标计算的近似坐标方位角。

(2) 观测边长误差方程为:

$$\begin{aligned} v_{S_{ij}} &= -\cos \alpha_{ij}^0 \delta x_i - \sin \alpha_{ij}^0 \delta y_i \\ &\quad + \cos \alpha_{ij}^0 \delta x_j + \sin \alpha_{ij}^0 \delta y_j + l_{ij} \quad (18) \\ l_{ij} &= S_{ij}^0 - S_{ij} \end{aligned}$$

式中  $\alpha_{ij}^0$  为由近似坐标算得的近似坐标方位角;  $S_{ij}^0$  为由近似坐标算得近似边长;  $S_{ij}$  为边长观测值。上列方程可写成一般形式:

$$\begin{aligned} v_{\beta_1} &= a_1 \delta x_1 + a_2 \delta y_1 + \dots + a_i \delta y_i + l_1 \\ v_{\beta_2} &= b_1 \delta x_1 + b_2 \delta y_1 + \dots + b_i \delta y_i + l_2 \\ &\dots \dots \dots \\ v_{S_1} &= f_1 \delta x_1 + f_2 \delta y_1 + \dots + f_i \delta y_i + l'_1 \\ v_{S_2} &= g_1 \delta x_1 + g_2 \delta y_1 + \dots + g_i \delta y_i + l'_2 \\ &\dots \dots \dots \end{aligned}$$

用矩阵形式表示为:

$$V = BX + L \quad (19)$$

$$V = (v_{\beta_1}, v_{\beta_2}, \dots, v_{S_1}, v_{S_2}, \dots)^T$$

$$B = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \dots & a_i \\ b_1 & b_2 & \dots & b_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_1 & f_2 & \dots & f_i \\ g_1 & g_2 & \dots & g_i \end{bmatrix}$$

$$X = (\delta x_1, \delta y_1, \dots, \delta x_i, \delta y_i)^T$$

$$L = (l_1, l_2, \dots, l'_1, l'_2, \dots)^T$$

式中  $t$  为未知数个数;  $n$  为角度和边长观测值个数。

**法方程解算** 由式 (19) 组成法方程:

$$B^T P B X + B^T P L = 0 \quad (20)$$

$$P = (p_{\beta_1}, p_{\beta_2}, \dots, p_{S_1}, p_{S_2}, \dots)^T$$

式中  $P$  为角度和边长观测值的权阵。

令

$$N = B^T P B, \quad U = B^T P L$$

则

$$NX + U = 0$$

$$X = -N^{-1}U \quad (21)$$

求得  $X$  后, 代入误差方程可计算得观测值的改正值  $v_{\beta}$  和  $v_S$ , 将其与相应观测值求和, 即得相应观测值的平差值。

**精度评定** 包括单位权中误差计算、待定点点位中误差计算和待定点相对点位中误差计算。

(1) 单位权中误差计算。

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[(pvv)_s + (pvv)_p]}{n_s + n_p - t}} \quad (22)$$



式中  $n_s$  为观测边数;  $n_a$  为观测角数。

(2) 待定点点位中误差计算。

$$\left. \begin{aligned} m_{x_i} &= m_0 \sqrt{Q_{11}} & m_{y_i} &= m_0 \sqrt{Q_{22}} \\ m_i^2 &= m_{x_i}^2 + m_{y_i}^2 \\ m_{x_j} &= m_0 \sqrt{Q_{33}} & m_{y_j} &= m_0 \sqrt{Q_{44}} \\ m_j^2 &= m_{x_j}^2 + m_{y_j}^2 \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

(3) 待定点相对点位中误差计算。

$$m^2 = E^2 + F^2 \quad (24)$$

$$E^2 = m_0^2 \frac{Q_{\Delta x \Delta x} + Q_{\Delta y \Delta y} + H}{2}$$

$$F^2 = m_0^2 \frac{Q_{\Delta x \Delta x} + Q_{\Delta y \Delta y} - H}{2}$$

$$Q_{\Delta x \Delta x} = Q_{11} + Q_{33} - 2Q_{13}$$

$$Q_{\Delta y \Delta y} = Q_{22} + Q_{44} - 2Q_{24}$$

$$Q_{\Delta x \Delta y} = Q_{34} - Q_{14} - Q_{32} - Q_{12}$$

$$H = \sqrt{(Q_{\Delta x \Delta x} - Q_{\Delta y \Delta y})^2 + 4Q_{\Delta x \Delta y}^2}$$

(陶华学)

## C

caimei gongzuomian celiang

**采煤工作面测量** (coal face survey) 为填绘采煤工作面动态图和计算产量、损失量而进行的测量工作。工作面测量是以保存在回采巷道中的导线点为基础,采用低精度经纬仪、测角仪和卷尺等进行。每月测量的次数取决于工作面长度、推进速度、煤层埋藏要素和厚度变化情况,并且满足生产和产量计算等的要求,至少每月一次。工作面停采时进行最后一次测量。测量的同时,沿工作面每隔一定距离,如在工作面两端、中间,丈量煤层厚度和采高、煤层倾角、夹矸厚度,并记录顶底板残留的煤皮等情况。

长壁工作面测量 如图1,当工作面比较直时,可

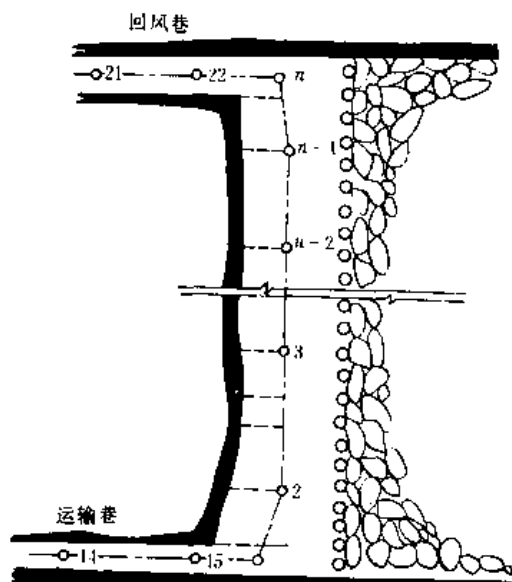


图1 长壁采煤工作面测量

分别丈量其上、下端点至回风巷、运输巷中相应导线点的距离。当工作面有较大弯曲或留有煤柱时,可沿工作面敷设碎部导线,附合在回风巷、运输巷中的高一级导线点上。工作面的轮廓点和其他要素用支距法测量。附

合导线的相对闭合差在限差之内时,用图解平差法分配闭合差,并将测量结果填绘于矿图上。

倒台阶工作面测量 如图2,用地质罗盘(或挂罗

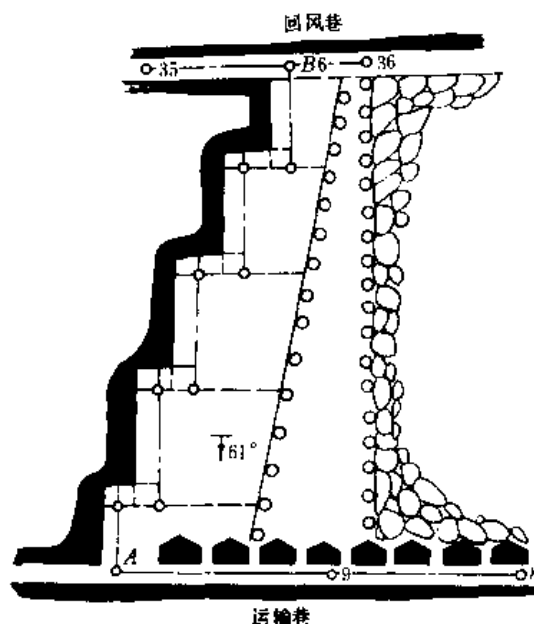


图2 倒台阶工作面测量

盘)和半圆仪测量煤层倾角和走向,从上部回风巷开始,沿煤层倾向和走向用卷尺丈量台阶位置及其他特征点位置,直到下部运输巷为止。测量的起点和终点均闭合到高一级导线点上。然后配合在现场绘制的详细草图,将测量成果转绘于平面图上,并绘制回采工作面的层面图。此层面图供计算产量、损失量、储量动态及解决其他问题使用。

在煤层厚度超过5m的特厚煤层中,采用综采放顶煤开采方法时,采高无法丈量,其回采煤量的验收是在运输顺槽的胶带输送机上安装核子秤计量,作为统计产量和回采率的依据。

(王明德)



caiqu celiang

**采区测量** (mining district survey) 为采区的施工和测图所进行的测量工作。包括采区联系测量、采区次要巷道测量、采煤工作面测量、综采(综合机械化采煤工艺的简称)时的测量工作等。

**采区联系测量** 在中斜或急斜煤层开采时,通过竖直或急倾斜巷道把方向、坐标和高程引测到采区内的测量工作。采区联系测量是以采区控制导线为基础,根据巷道的不同情况,分别采取通过两个竖直巷道、一个竖直巷道、倾斜或急倾斜巷道进行。采区联系测量的特点是控制范围小、测量条件差、精度要求低,并且一般是由下面的巷道向上的巷道传递的。在保证必要精度的前提下,常采用简易的联系测量方法进行。

**两个竖直巷道的采区联系测量** 其方法与两井定向相同(见几何定向)。

**一个竖直巷道的采区联系测量** 有双垂线瞄直法、三角形连接法、单垂线切线法等。

**双垂线瞄直法** 如图1,要将方向和坐标由下平巷引测到上平巷。在竖直巷道内下放两根垂线  $B_1B_1'$  和  $B_2B_2'$ ,其间距不小于0.5m。待两垂线稳定后,在上、下平巷用瞄直法定出测站点  $A$  和  $A'$ ,并安置经纬仪,使  $A$ 、 $A'$  点分别位于  $B_1B_2$  和  $B_1'B_2'$  的延长线上。然后在上、下平巷由导线点和垂线连测。由于  $B_1B_2$  和  $B_1'B_2'$  的方位角相等,  $B_1$  和  $B_1'$  的坐标相同,按一般导线计算方法可求出上平巷中的导线点坐标和导线边坐标方位角。为了传递高程,把经纬仪望远镜置平,按望远镜视线在垂线  $B_1B_1'$  的上下端各作一标记  $b$  和  $b'$ 。待提上垂线后,用钢尺丈量两标记  $b$  和  $b'$  间距离  $h'$ ,同时丈量上平巷的仪器高  $i_{上}$  和下平巷的仪器高  $i_{下}$ ,则上下平巷两测点间高差为  $h = h' + i_{上} - i_{下}$ 。

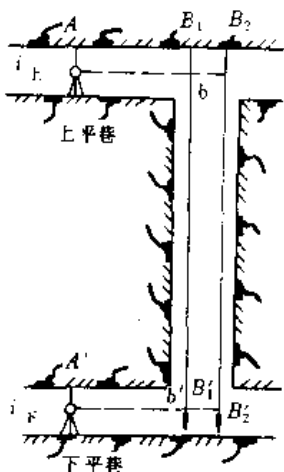


图1 双垂线瞄直法

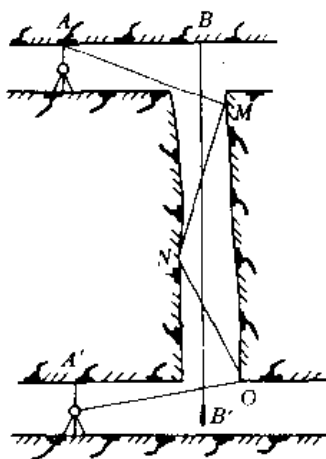


图2 单垂线切线法

**三角形连接法** 做法与一井定向三角形连接法相同,只是精度要求可低一些(见几何定向)。

**单垂线切线法** 如图2,在竖直巷道内挂一垂线  $BB'$ ,自  $A$  点拉一细线,使其与垂线相切并引至  $M$  点,再从  $M$  点拉线以同法引至  $N$ 、 $O$  点,并在下平巷定出测站  $A'$  点,使  $OA'$  也相切于垂线。这样  $A$ 、 $M$ 、 $N$ 、 $O$ 、 $A'$  各点均位于含有垂线  $BB'$  的竖直面内,因而  $AB$  ( $AM$ ) 和  $A'B'$  ( $A'O$ ) 的方位角相同。因此,可以根据下平巷已知导线点和垂线  $BB'$  进行上下平巷的导线连测。高程的传递方法与双垂线瞄直法中的高程传递方法相同。

**倾斜或急倾斜巷道的采区联系测量** 一般是用经纬仪进行导线测量来完成。在特殊情况下,如导线通过的巷道成弯曲形状或巷道倾角很大时,可用悬吊式矿用经纬仪测角。当不具备这些条件时,方采用斜线辅助垂线法和牵制垂线法等方法进行采区联系测量。

**斜线辅助垂线法** 如图3,通过急倾斜巷道拉紧一斜线  $BB'$ ,并在  $B$  点和斜线适当位置  $O$  点处各挂一垂线,此时斜线和两垂线同处一竖直面内。然后在上、下平巷用目视穿线法定出测站  $A$  和  $A'$ ,并于  $A$  和  $A'$  点安置仪器,使  $A$ 、 $b$ 、 $a$  和  $A'$ 、 $b'$ 、 $a'$  位于同一竖直面内,因此可以认为  $bA$  和  $A'b'$  的方位角相等,并依此进行导线连测。为确定坐标和高程,用半圆仪测出  $BB'$  的垂直角  $\delta$ ,用钢尺量斜距  $BO$  和平距  $AB$ 、 $A'b'$  及两仪器高  $i_{上}$ 、 $i_{下}$ ,垂高  $Bb$ 、 $Ob'$ ,则  $AA'$  的水平距离:

$$l = AB + A'b' + BO \cos \delta$$

$A$ 、 $A'$  两点间高差:

$$h = BO \sin \delta + Ob' - Bb + i_{上} - i_{下}$$

由此,按测得的水平角和边长计算导线坐标方位角和各点坐标,由  $A'$  点的高程计算出  $A$  点的高程。

**牵制垂线法** 如图4,在上、下平巷选定测站点

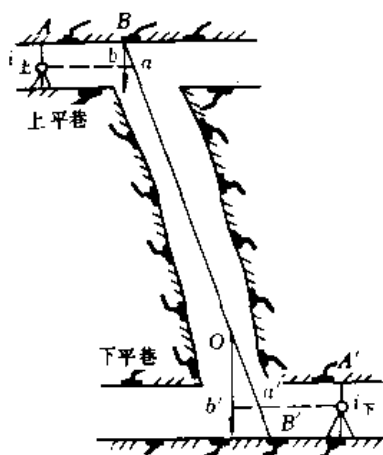


图3 斜线辅助垂线法

A、A'，在其间拉一斜线，并在斜线B'处挂垂球P。在上平巷于A点安置经纬仪进行观测，并拉线绳BO。移动B点位置，使AO与BO重合，于是A、O、B'、A'位于同一竖直面内，A'B'与BA的方位角相同，因此可进行上、下平巷的导线和高程连测，以实现坐标和高程的传递。

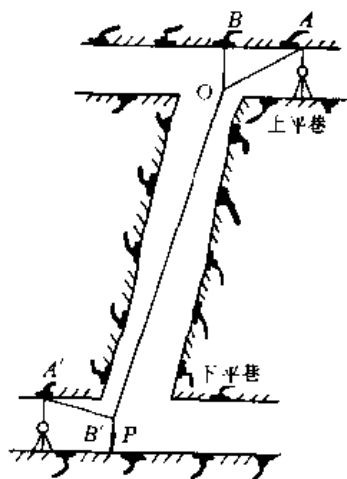


图4 牵制垂线法

**采区次要巷道测量** 以采区控制导线为基础，以获得详尽的填绘矿图资料为目的，敷设碎部导线并进行碎部测量的工作。主要的工作内容有：①测量巷道的轮廓，绘制大比例尺巷道图；②丈量巷道长度，验收巷道进尺；③丈量巷道断面尺寸，验收巷道的规格质量；④测定断层、煤厚变化等地质特征点和瓦斯突出点、涌水点的实际位置，并反映到有关的矿图上。碎部导线测量通常采用低精度经纬仪或罗盘仪进行施测。当用低

精度经纬仪敷设碎部导线时，作业步骤和方法与井下基本控制导线测量一样，只是精度要求较低。当用罗盘仪在没有磁性物质影响的地方敷设碎部导线时，一般是在导线边的两端各测一次磁方位角和用悬挂半圆仪测定倾斜角。

测绘巷道轮廓等碎部采用支距法、极坐标法等。在现场作好记录和草图，在室内根据导线点位置按制图比例尺用量角器和直尺绘出巷道图。在绘制的巷道草图中，应标明断层、见煤点、煤厚变化点、瓦斯突出点、涌水点等的位置和其他详细情况，以利于绘制有关矿图。

巷道的验收工作一般在旬末、月末进行(见井巷验收测量)。

**综采测量** 为适应综合机械化采煤及机组运行的需要，一般综采工作面都设计成平面投影近似为规整的长方形，走向长度可达数百米至千米以上，回采面空间也较大，且对上下顺槽的平行度、准直度有较严格限制，使测量工作具有不同于一般采煤工作面测量的特点。因此，采区控制一般采用±15"级导线或更高等级导线。上、下顺槽开口后，需严格控制巷道中线的方向，以保证工作面斜长在不同位置基本相等，其变化一般不大于一个综采支架的宽度。

(王明德)

caiqu kongzhi daoxian celiang

**采区控制导线测量** (traversing for mining district control) 在井下基本控制导线基础上进行的井下次级导线测量工作，是煤矿井下平面控制的加密控制，作为采区联系测量、采区次要巷道测量、采煤工作面测量和各种碎部测量工作的基础。

**布设原则** 一般由主要巷道中的基本控制导线点开始，沿采区上下山、中间巷或片盘运输巷及其他次要巷道敷设。导线等级通常是按一定的测角中误差来划分的，在实际工作中，是根据采矿工程的实际需要，依矿井和采区开采范围的大小来选定其中的一种作为采区控制。对于较大的综采采区，由于一翼较长(可超过1km)，而且对工作面两端巷道之间的平行度和巷道准直度要求很高，因此，需要根据具体情况适当提高采区控制导线的精度。导线的类型有复测支导线、附和导线和闭合导线等。采区控制导线的主要技术指标，一般包括测角中误差、边长及导线全长相对闭合差等。

**施测** 角度测量采用测回法或复测法(见水平角测量)。在测角、量边之后，随即进行碎部测量，目的在于获得填图资料(见采区测量)。导线是随巷道掘进分段测设的，也就是逐渐向前延长。导线延长时的检查



测量见井下基本控制导线测量。

内业计算 边长的计算只需把量得的倾斜距离换算成水平距离即可。当导线的坐标方位角闭合差不超过有关技术标准的规定时,即可进行简易平差。当导线的相对闭合差符合要求时,进行平差计算和精度评定。(见井下基本控制导线测量)

(王明德)

celiang pingcha

**测量平差** (survey adjustment) 依据最小二乘准则,对含有误差的测量数据,求未知量最佳估值及其精度估计的理论和方法。

**权** 表示观测值可靠程度的一种相对权衡值。利用  $p_i = \sigma_0^2 / \sigma_i^2$  作为求权的一个基本方法,式中  $\sigma_0^2$  为任意选定的常数,  $\sigma_i^2$  为观测量的方差。权与方差成反比,精度愈高,其权愈大。方差用来反映观测量的绝对精度,而观测量权的大小,随  $\sigma_0$  而异,因而权只是用来比较各观测量之间精度高低的相对定量指标。

$\sigma_0$  可以任意选定,其值一经选定,就有具体的含义,如当  $\sigma_0^2 = \sigma_1^2$  时,  $p_1 = 1$ ; 当  $\sigma_0^2 = \sigma_2^2$  时,  $p_2 = 1$ 。凡方差等于  $\sigma_0^2$  的观测值,其权为 1,因此,称  $\sigma_0$  为单位权观测值中误差,简称单位权中误差,称  $\sigma_0^2$  为单位权方差或方差因子。 $n$  维随机向量的协方差阵中提出一个单位方差后的方阵称为权逆阵,也称协因数阵。

在实际应用中,常用估值  $m_0^2$  及  $m_i^2$  代替上式中的  $\sigma_0^2$  和  $\sigma_i^2$ ,因有  $p_i = m_0^2 / m_i^2$ ,称  $m_0$  为单位权中误差。将上式变为:  $m_i^2 = m_0^2 / p_i$  或  $m_i = m_0 \sqrt{1/p_i}$ ,用作精度估计的基本计算公式。

**权逆阵传播律** 已知观测值(即观测向量)的协因数阵,求其函数的权倒数(或权)及相关权倒数的计算公式。

**协因数阵** 由  $n$  个观测值构成的列向量  $L = (L_1, L_2, \dots, L_n)^T$ ,称为  $n$  维观测向量。将  $n$  维向量  $L$  的有关协因数和相关协因数按一定顺序排列成一个  $n$  阶方阵:

$$Q_{LL} = \begin{bmatrix} Q_{11} & Q_{12} & \cdots & Q_{1n} \\ Q_{21} & Q_{22} & \cdots & Q_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Q_{n1} & Q_{n2} & \cdots & Q_{nn} \end{bmatrix}$$

称  $Q_{LL}$  为向量  $L$  的协因数阵。因协因数阵与观测值的权阵  $P_{LL}$  有  $P_{LL}^{-1} = Q_{LL}$  或  $Q_{LL}^{-1} = P_{LL}$  的关系,所以又称  $Q_{LL}$  为权逆阵。

$Q_{LL}$  阵中主对角元素依次为各分量的协因数(或称权倒数),即  $Q_{ii} = 1/p_i = \sigma_i^2 / \sigma_0^2$ ,非主对角元素  $Q_{ij}$  ( $i \neq$

$j$ ) 为相应两分量的相关协因数(或称相关权倒数),  $Q_{ij}$  与协方差  $\sigma_{ij}$  成正比,有  $Q_{ij} = \sigma_{ij} / \sigma_0^2$ 。若  $Q_{ij} = 0$ ,即  $\sigma_{ij} = 0$ ,表示观测值  $L_i$  与  $L_j$  之间不相关,又称  $L_i$  和  $L_j$  为独立观测值。

**权逆阵传播律** 设有观测向量  $X$  的线性函数:

$$\left. \begin{aligned} Y &= A X + A_0 \\ Z &= B X + B_0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

$\begin{matrix} m \times 1 & m \times n & n \times 1 & m \times 1 \\ t \times 1 & t \times n & n \times 1 & t \times 1 \end{matrix}$

式中  $A$ 、 $B$  为函数的系数阵;  $A_0$ 、 $B_0$  为常数项阵。若已知向量  $X$  的协因数阵  $Q_{XX}$ ,则有:

$$\left. \begin{aligned} Q_{YY} &= A Q_{XX} A^T \\ Q_{ZZ} &= B Q_{XX} B^T \\ Q_{YZ} &= A Q_{XX} B^T \\ Q_{ZY} &= B Q_{XX} A^T \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

$\begin{matrix} m \times m & m \times n & n \times n & n \times m \\ t \times t & t \times n & n \times n & n \times t \\ m \times t & m \times n & n \times n & n \times t \\ t \times m & t \times n & n \times n & n \times m \end{matrix}$

式(2)统称权逆阵传播律或协因数传播律。式中  $Q_{YY}$ 、 $Q_{ZZ}$  其主对角元素是各函数的权倒数,非主对角元素分别为相应两函数的相关权倒数。而  $Q_{YZ}$  和  $Q_{ZY}$  分别为向量  $Y$  对向量  $Z$  和向量  $Z$  对向量  $Y$  的相关权逆阵或互协因数阵,其元素为相应两函数的相关权倒数。相关权逆阵可以用来表示两组向量间的关系,若  $Q_{YZ} = Q_{ZY} = 0$ ,则称向量  $Y$  与向量  $Z$  是两组相互独立的向量。当向量  $Y$  与向量  $Z$  的维数  $m=t=1$  时,有  $Q_{YZ} = Q_{ZY} = Q_{yz}$ ,相关权逆阵就是两函数变量的相关权倒数。

若观测值相互独立,  $Q_{XX}$  为对角阵,即:

$$Q_{XX} = \begin{bmatrix} Q_{11} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & Q_{22} & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & Q_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/p_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1/p_2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1/p_n \end{bmatrix}$$

又当  $m=t=1$  时,式(2)中的

$$\left. \begin{aligned} Q_{YY} &= \frac{1}{p_y} = \frac{a_1^2}{p_1} + \frac{a_2^2}{p_2} + \cdots + \frac{a_n^2}{p_n} \\ Q_{ZZ} &= \frac{1}{p_z} = \frac{b_1^2}{p_1} + \frac{b_2^2}{p_2} + \cdots + \frac{b_n^2}{p_n} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中  $a_i$ 、 $b_i$  为线性函数未知数  $x_i$  的系数。通常称式(3)为权倒数传播律。

对于非线性函数,一般是按泰勒级数展开为线性函数(即保留零阶和一阶项),然后再应用上述线性函数的权逆阵传播律。

**最小二乘准则** 设观测值  $L_i$  的估值为  $\hat{L}_i$ ,则  $\hat{L}_i = L_i + v_i$ ,  $v_i$  是  $L_i$  的改正数。若在  $V^T P_{LL} V$  为最小的条

件下来求未知量的最佳估值,称  $V^T P_{LL} V = \text{最小}$ , 为最小二乘准则。设  $L_1, L_2, \dots, L_n$  是一组互相独立的观测量,则上式中的  $V$  是改正数  $v_i$  组成的向量,  $P_{LL}$  为观测向量  $L$  的权阵,也就是观测值向量协因数阵  $Q_{LL}$  的逆阵。

在测量工作中,为确定某个量所需要的最少观测个数,称为必要观测个数。若实际观测个数超过了必要观测个数,就有了多余观测。例如,某一角度观测了两次,则有一个多余观测。设观测值为  $L_1, L_2$ , 偶然误差为  $\Delta_1, \Delta_2$ , 它们之间存在一个(等于多余观测个数)关系式:

$$L_1 - \Delta_1 = L_2 + \Delta_2$$

上面所建立的关系式称为平差的函数模型。由于观测量的真值不能真正求得,平差的目的就是根据已知的观测值来估计满足上述模型的估值并评定其精度。

设  $\Delta_1$  的估值为  $v_1$ , 将上式  $\Delta_1$  换为  $v_1$ , 则有:

$$v_1 - v_2 + (L_1 - L_2) = 0$$

上面方程中,未知数  $v$  的个数多于方程个数,其解不是唯一解。为了获得唯一解,附加一条件  $V^T P_{LL} V = \text{最小}$ , 求出  $v$  后,按下式得:

$$\hat{L} = L + V$$

$\hat{L}$  称为观测值估值,又称平差值。按最小二乘准则作测量平差,获得的未知量估值的方差极小,因此称为最佳估值。

**平差方法** 依据最小二乘准则求观测值的估值  $\hat{L}$ 。平差方法随所选用的函数模型不同而不同,可将测量平差方法分为条件平差和间接平差(也称参数平差)。这是测量平差中两种最基本的平差方法。在这两种平差方法的基础上,随所选未知数的不同,又将上述两种平差方法扩展为带有未知数的条件平差和带有条件的间接平差。依所选用的权阵形式不同又可分为相关观测值平差(权阵为对称阵)和独立观测值平差(权阵为对角阵),不等精度平差(权阵对角线元素不等)和等精度平差(权阵对角线元素相等,即观测值的权均为1)。各种平差方法都包括求未知量最佳估值和精度估计两方面内容。

**条件平差** 以全部观测值的估值和设置的某些非观测值作为未知数,并建立起未知数间的全部函数关系式,即条件方程,按最小二乘准则求得各观测量的最佳估值并进行精度估计的平差方法。

**求最佳估值** 设有  $n$  个不等精度的相关观测值  $L$ , 观测值的权阵为  $P_{LL}$ , 选用  $t$  个相互间不存在函数关系的非观测值作为未知数  $X$ , 必要观测个数为  $t_0$ , 多余观测个数为  $r_0$ , 条件式个数  $r = (n - t_0) + t = r_0$

+  $t$ , 则未知数  $\hat{L}$ 、 $X$  之间存在着  $r$  个函数关系式:

$$\left. \begin{array}{l} \text{线性式} \quad A\hat{L} + A_X X + A^0 = 0 \\ \text{非线性式} \quad f_A(\hat{L}, X) = 0 \end{array} \right\} \quad (4)$$

式(4)称为条件方程式。以  $\hat{L} = L + V, X = X^0 + \delta_X$  代入式(4)后,并将  $f_A(\hat{L}, X) = 0$  用泰勒级数线性近似式表示,经整理后得:

$$A V + A_X \delta_X - W = 0 \quad (5)$$

上式称为带有未知数的以改正数表达的条件方程。式中  $W$  称为闭合差向量:

$$\left. \begin{array}{l} W = AL + A_X X^0 + A^0 \\ W = f_A(L, X^0) \end{array} \right\} \quad (6)$$

按  $V^T P_{LL} V = \text{最小}$  准则并满足条件式(5),可得改正数方程为:

$$V = P_{LL}^{-1} A^T K \quad (7)$$

代入条件式得:

$$\begin{bmatrix} AP_{LL}^{-1}A^T & A_X \\ A_X^T & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} K \\ \delta_X \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W \\ O \end{bmatrix} = 0 \quad (8)$$

上式称为联系数法方程,简称法方程。式中  $K$  为联系数向量。法方程是系数对称的  $r+t$  阶线性方程组,解法方程,得:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} K \\ \delta_X \end{bmatrix} &= - \begin{bmatrix} AP_{LL}^{-1}A^T & A_X \\ A_X^T & O \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} W \\ O \end{bmatrix} \\ &= - \begin{bmatrix} Q_{rr} & Q_{rt} \\ Q_{rt} & Q_{tt} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W \\ O \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (9)$$

则有

$$K = -Q_{rr}W, \quad \delta_X = -Q_{rt}W$$

将求出的  $K$  代入式(7)求出改正数,进而求出观测量的最佳估值:

$$\hat{L} = L + V$$

选用这种函数模型的平差方法称为带有未知数的相关条件平差法,它有带有未知数的条件平差法、相关条件平差和独立观测值条件平差三种特殊情况:

(1)带有未知数的条件平差法。上述平差法中由对称权阵转换为对角阵  $P$ ,即观测值为独立观测值。 $P$  阵主对角元素不等时为不等精度平差,  $P$  阵为单位阵时是等精度平差,不等精度与等精度带有未知数的条件平差,其法方程的一般形式为:

$$\text{不等精度} \quad \begin{bmatrix} A^T P A & A_X^T \\ A_X & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_X \\ K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A^T P L \\ W \end{bmatrix} = 0$$

$$\text{等精度} \quad \begin{bmatrix} A^T A & A_X^T \\ A_X & O \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_X \\ K \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A^T L \\ W \end{bmatrix} = 0$$

(2)相关条件平差。如果相关条件平差中不含未

知数  $X$ , 观测值仍为相关观测值时的平差。此时线性改正数条件方程式为:

$$AV + W = 0$$

联系数法方程:

$$A^T P_{LL}^{-1} AK + W = 0$$

式中权阵  $P_{LL}$  为对称阵, 解法方程, 求得  $K$ 。进而求得改正数:

$$V = P_{LL}^{-1} A^T K$$

观测量的最佳估值:

$$\hat{L} = L + V$$

(3) 独立观测值条件平差。如果相关条件平差中不含未知数  $X$ , 且观测值的权阵为对角阵  $P$  (权阵对角线元素不等) 或单位阵  $E$  时。权阵为对角阵时称为不等精度独立观测值条件平差, 条件方程仍为:

$$AV + W = 0$$

联系数法方程为:

$$A^T P^{-1} AK + W = 0$$

改正数方程为:

$$V = P^{-1} A^T K$$

观测量的最佳估值:

$$\hat{L} = L + V$$

当上述平差法中观测值的权阵为单位阵时, 称为等精度独立观测值条件平差, 此时, 联系数法方程和改正数方程为:

$$A^T AK + W = 0$$

$$V = A^T K$$

精度评定 由确定权的公式  $p_F = m_0^2 / m_F^2$  知,  $m_F = m_0 \sqrt{1/p_F}$ , 欲估计某量的精度, 必须求出单位权中误差  $m_0$  和该量的权倒数  $1/p_F$ 。

(1) 单位权中误差:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P_{LL} V}{n - t}}$$

$$V^T P_{LL} V = W^T Q_{LL} W$$

式中  $Q_{LL}$  可由联系数法方程系数阵的逆阵式 (9) 中求得, 或由  $V$  直接代入  $V^T P_{LL} V$  中求得。

(2) 权倒数。对于带有未知数的相关条件平差一般是对估值  $\hat{L}$  及未知数的函数进行精度估计, 其函数的一般式为  $F = f(\hat{L}_1, \hat{L}_2, \dots, \hat{L}_n, x_1, x_2, \dots, x_r)$ , 将函数线性化后应用权倒数传播律得:

$$\frac{1}{p_F} = Q_{FF} = f^T P_{LL} f + F^T q_k + f_x^T q_x$$

式中

$$f_{n \times 1} = (f_1, f_2, \dots, f_n)^T$$

$$= \left( \frac{\partial F}{\partial \hat{L}_1} \bigg|_{\hat{L}=\hat{L}^0} \quad \frac{\partial F}{\partial \hat{L}_2} \bigg|_{\hat{L}=\hat{L}^0} \quad \dots \quad \frac{\partial F}{\partial \hat{L}_n} \bigg|_{\hat{L}=\hat{L}^0} \right)^T$$

$$f_{r \times 1} = (f_{x_1}, f_{x_2}, \dots, f_{x_r})^T$$

$$= \left( \frac{\partial F}{\partial X_1} \bigg|_{\substack{\hat{L}=\hat{L}^0 \\ X=X^0}} \quad \frac{\partial F}{\partial X_2} \bigg|_{\substack{\hat{L}=\hat{L}^0 \\ X=X^0}} \quad \dots \quad \frac{\partial F}{\partial X_r} \bigg|_{\substack{\hat{L}=\hat{L}^0 \\ X=X^0}} \right)^T$$

$$F = A P_{LL}^{-1} f$$

$q_k, q_x$  为转换系数向量, 由转换系数方程求得:

$$\begin{pmatrix} q_k \\ q_x \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} Q_{kk} & Q_{kx} \\ Q_{xk} & Q_{xx} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} F \\ f_x \end{pmatrix}$$

带有未知数的相关条件平差法的三种特殊情况的精度估计式, 只需考虑每一种平差方法的特点, 对上述几个公式作适当变换即可。

间接平差 在确定多个未知量的最佳估值时, 选择相互间不存在函数关系的独立未知数作为参数, 组成用参数表达观测量的函数关系, 列出误差方程式, 按最小二乘准则求得未知量的最佳估值, 并进行精度评定。若所选未知数个数多于必要观测个数, 此时参数之间还存在相互依赖的关系式, 即条件式。将这种条件方程式连同误差方程一起按最小二乘准则求未知量最佳估值的平差法, 称为带有条件的间接平差法, 它可以看作间接平差的一般情况。

求最佳估值 设有  $n$  个不等精度的相关观测值  $L$ , 其权阵为  $P_{LL}$ , 选  $t$  个未知数  $X$  作为参数, 必要观测个数为  $t_0$  ( $t > t_0$ ), 建立起  $\hat{L} = L + V$  与未知数之间的函数关系式, 即观测方程。又  $t > t_0$ , 所以未知数之间还存在  $r = t - t_0$  个函数关系式, 又称条件式, 其线性观测方程和条件方程为:

$$\left. \begin{aligned} L + V &= AX + d \\ A_X X + A^0 &= 0 \end{aligned} \right\}$$

非线性观测方程和条件方程为:

$$\left. \begin{aligned} L + V &= f(x) \\ f_A(x) &= 0 \end{aligned} \right\}$$

将非线性观测方程和条件方程线性化, 即用泰勒级数展开的线性近似式表示, 并将观测方程转化为误差方程, 有

$$\left. \begin{aligned} V &= A \delta_X + l \\ A_X \delta_X + W &= 0 \end{aligned} \right\}$$

式中

$$l = AX^0 + d - L \text{ 或 } l = f(X^0) - L$$

$$W = A_X X^0 + A^0 \text{ 或 } W = f_A(X^0)$$

在  $V^T P_{LL} V = \text{最小的条件下}$ , 并满足条件式, 求出未知量的法方程:

$$\begin{bmatrix} A^T P_{LL} A & A_X^T \\ A_X & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \delta_X \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A^T P_{LL} l \\ W \end{pmatrix} = 0$$

这是系数成对称的  $(t+r)$  阶线性方程组, 解法方程,



得:

$$\begin{pmatrix} \delta_x \\ K \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} A^T P_{LL} A & A_x^T \\ A_x & O \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A^T P_{LL} l \\ W \end{pmatrix} \\ = - \begin{pmatrix} Q_{xx} & Q_{xr} \\ Q_{rx} & Q_{rr} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A^T P_{LL} l \\ W \end{pmatrix}$$

$$\text{则有 } \delta_x = - (Q_{xx} A^T P_{LL} l + Q_{xr} W)$$

$$K = - (Q_{rx} A^T P_{LL} l + Q_{rr} W)$$

求参数  $X$  的最佳估值:

$$X = X^0 + \delta_x$$

将  $\delta_x$  代入误差方程, 求出改正数  $V$ , 进而求出观测量的估值:

$$\hat{L} = L + V$$

选用这种函数模型的平差方法称为带有条件的间接平差法, 有带有条件的间接平差法、相关间接平差法和独立观测值的间接平差法三种特殊情况:

(1) 带有条件的间接平差法。上述平差法中当对称权阵  $P_{LL}$  能转换为对角阵  $P$  时, 即观测值为独立观测值,  $P$  阵主对角线元素不等时为不等精度平差,  $P$  阵为单位阵时为等精度平差。带有条件的间接平差法方程的一般形式为:

$$\text{不等精度 } \begin{pmatrix} A^T P A & A_x^T \\ A_x & O \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_x \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A^T P l \\ W \end{pmatrix} = O$$

$$\text{等精度 } \begin{pmatrix} A^T A & A_x^T \\ A_x & O \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \delta_x \\ K \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} A^T l \\ W \end{pmatrix} = O$$

(2) 相关间接平差法。当带有条件的间接平差法中所选未知数  $t=t_0$ , 即未知参数的个数等于必要观测个数时的平差法。此时未知数之间的条件式不存在, 误差方程为:

$$V = A\delta_x - l$$

法方程为:

$$A^T P_{LL} A \delta_x + A^T P_{LL} l = O$$

式中权阵  $P_{LL}$  为对称阵。解法方程, 求出未知数  $\delta_x$ , 代入误差方程求出  $V$ , 观测量和参数的最佳估值为:

$$\hat{L} = L + V$$

$$X = X^0 + \delta_x$$

(3) 独立观测值的间接平差法。带有条件的间接平差中不仅所选独立未知数的个数等于必要观测个数, 且观测值为独立观测值, 即权阵为对角阵  $P$  时的平差法。权阵  $P$  中主对角线元素不等时为不等精度独立观测值间接平差, 其法方程为:

$$A^T P A \delta_x + A^T P l = O$$

权阵  $P$  为单位阵  $E$  时, 称等精度独立观测值间接平差, 法方程为:

$$A^T A \delta_x + A^T l = O$$

精度评定 欲评定某量的精度必须求出单位权中

误差  $m_0$  和其量的权倒数  $1/p_F$ 。

(1) 单位权中误差。

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P_{LL} V}{n - t + r}}$$

式中  $V^T P_{LL} V$  可由  $V$  和  $P_{LL}$  直接求得, 或用  $V^T P_{LL} V = l^T P_{LL} l + (A^T P_{LL} l)^T \delta_x + W^T K$  来求。

(2) 权倒数。对于带有条件的间接平差一般是估计未知数函数的精度, 设未知数的函数式为:

$$F = f(x_a, x_b, \dots, x_t)$$

将函数线性化后, 应用权倒数传播律得:

$$Q_{FF} = \frac{1}{P_F} = f^T Q_{LL} f$$

式中  $Q_{LL}$  为法方程系数阵逆阵中的前  $t$  行和前  $t$  列元素所组成的  $t$  阶方阵,

$$f = \left( \frac{\partial F}{\partial X_a} \Big|_{X=X^0} \quad \frac{\partial F}{\partial X_b} \Big|_{X=X^0} \quad \dots \quad \frac{\partial F}{\partial X_t} \Big|_{X=X^0} \right)^T$$

对于带有条件的间接平差法的几种特殊情况的精度估计式只需考虑每一种平差方法的特点, 对上述的公式作适当变换即可。

(马金玲)

celiang wucha

**测量误差** (observation error) 一个量的测量值与该量的真值之差。真值是不可知的, 可以从重复观测得的观测值或观测值与该量精确值之间存在差异来发现误差。产生测量误差的主要原因是测量仪器、工具的精密程度有限, 观测者的鉴别能力有局限性, 所采用的观测方法不够完善, 受观测环境如温度、湿度、风、大气折光的影响等。测量误差与测量中发生的错误或粗差是截然不同的两个概念。

观测值及其误差的数值处理理论与方法是测量工作的基础, 包括研究误差的传播规律、估计观测值的可靠程度及精度、确定待定量最佳估值等。

**测量误差分类** 根据测量误差对观测结果的影响性质, 可将测量误差分为系统误差和偶然误差两类。

**系统误差** 大小和正负号按一定规律出现的误差。系统误差对于测量成果的影响一般具有累积性。由于系统误差出现具有一定规律性, 可以找出原因予以消除, 如采取适当的操作方法和程序, 或者通过计算改正数加以改正的方法均可将其从观测值中消除, 或减少到最低限度。

**偶然误差** 大小和正负号呈随机性变化的误差, 又称随机误差。就出现的单个偶然误差而言, 其值的大小和符号无一定规律, 因而不从观测结果中将其消除, 只能采取适当的方法和措施, 减少偶然误差对观测

结果的影响。

**偶然误差的特性** 在一定观测条件下,超出一定限值的误差出现的概率为零;绝对值较小的误差比绝对值较大的误差出现的概率大;绝对值相等的正误差与负误差出现的概率相同。由上面的三个特性可知,当观测次数  $n$  相当大时,偶然误差  $\Delta$  服从正态分布,它的理论平均值或者说其数学期望  $E(\Delta)$  为零,即

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta]}{n} = E(\Delta) = 0$$

$$[\Delta] = \Delta_1 + \Delta_2 + \cdots + \Delta_n$$

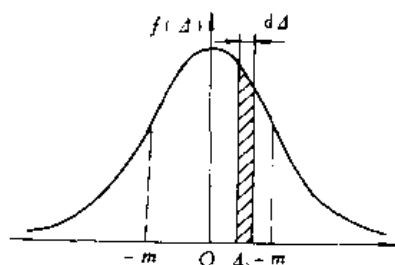
偶然误差  $\Delta$ 、观测值  $L$  和观测量的真值  $\bar{L}$  之间的关系为:

$$\Delta = \bar{L} - L$$

下图是偶然误差的正态分布曲线图。横轴  $\Delta$  表示偶然误差的大小,纵轴  $f(\Delta)$  表示偶然误差的概率密度函数,则

$$f(\Delta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{\Delta^2}{2\sigma^2}\right)$$

式中  $\sigma$  是密度函数中的一个参数。这种曲线就是误差的概率分布曲线,曲线在偶然误差为零的两侧对称。偶然误差的概率分布描述了它的随机特性。



正态分布曲线

**随机变量的数字特征** 偶然误差  $\Delta$  和观测值  $L$  都是随机变量。在测量中常用的数字特征是数学期望、方差、标准差(中误差)和协方差等。

**数学期望** 随机变量所有可能取值的平均值。它反映随机变量的集中位置。随机变量  $L$  的数学期望  $E(L)$  为:

$$E(L) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{L_1 + L_2 + \cdots + L_n}{n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[L]}{n}$$

**方差** 偶然误差平方的数学期望定义为方差,记为  $D(\Delta)$ ,即

$$D(\Delta) = E(\Delta^2) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \cdots + \Delta_n^2}{n} \\ = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{[\Delta\Delta]}{n}$$

方差反映随机变量的分散程度。方差的平方根称为标

准差或中误差,记为  $\sigma$ ,即

$$\sigma = \sqrt{D(\Delta)} \quad \text{或} \quad \sigma^2 = D(\Delta)$$

**协方差** 两随机变量如  $L_i$  与  $L_j$ ,其相应偶然误差的乘积的数学期望称为协方差,记为  $\sigma_{ij}$ ,即

$$\sigma_{ij} = E(\Delta_i \Delta_j)$$

协方差用来表示随机变量之间的相关性,若  $\sigma_{ij}=0$ ,表示  $\Delta_i$  与  $\Delta_j$  之间不相关,也可以说两误差所对应的观测值  $L_i$  与  $L_j$  之间不相关,又称两观测值互相独立,即为独立观测值。

**衡量精度的指标** 一组观测的质量好坏可用它所对应的误差分布来表示。如果误差分布较为集中在其数学期望附近,离散度较小时,则表示该组观测质量较好,精度较高;离散度较大时,则表示该组观测质量较差,精度较低。反映误差分布的密集或离散程度的特征数字称为衡量精度的指标。测量上常用的衡量精度的指标有标准差、极限误差、相对中误差。

**标准差** 标准差  $\sigma$  是正态分布密度函数的一个参数,是正态分布曲线拐点的横坐标。 $\sigma$  愈小,曲线形状愈陡峭,说明偶然误差对数学期望的离散度小,即小误差出现的概率大,表示观测精度高;反之, $\sigma$  愈大,精度愈低。因而测量上采用标准差  $\sigma$  或方差  $\sigma^2$  作为衡量精度的指标。实际工作中,观测次数  $n$  总是有限的,当  $n$  相当大时,用  $\sqrt{[\Delta\Delta]/n}$  作为  $\sigma$  的估计值,用  $m$  表示,称其为中误差,作为衡量精度的指标。

**极限误差** 在一定观测条件下,偶然误差的绝对值不应超过的极限值。由于大于二倍中误差的偶然误差出现的概率仅有 0.3%,因此通常以三倍中误差作为偶然误差的极限值,并以此制定测量限差,即

$$\Delta_{\text{限}} = 3\sigma \quad \text{或} \quad \Delta_{\text{限}} = 3m$$

大于二倍中误差的偶然误差出现的概率为 4.5%。在重要测量工程中,为控制测量误差,提高测量精度,常以二倍中误差作为测量限差,即

$$\Delta_{\text{限}} = 2\sigma \quad \text{或} \quad \Delta_{\text{限}} = 2m$$

**相对中误差** 中误差与其相应最佳估值之比。用来衡量观测结果质量的相对精度。

**协方差传播律** 某些量需要由若干观测值通过一定的函数关系间接计算出来。观测值函数的中误差与观测值中误差之间的关系可通过方差和协方差运算导出。从已知随机向量的协方差阵,推求其函数的方差或函数之间协方差的算式称为协方差传播律。

**协方差阵** 由  $n$  个观测值构成列向量

$$L = (L_1, L_2, \cdots, L_n)^T$$

称为  $n$  维观测向量,将  $n$  维向量  $L$  的有关方差和协方差按一定顺序排列成一个  $n$  阶方阵:



$$D_{LL} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \cdots & \sigma_{1n} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \cdots & \sigma_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ \sigma_{n1} & \sigma_{n2} & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

称 $D_{LL}$ 为向量 $L$ 的方差—协方差阵,简称协方差阵,其中主对角元素依次为各分量的方差,非对角元素为相应两分量的协方差。

线性函数的协方差传播率 设有观测向量 $X$ 的线性函数:

$$\begin{aligned} Y &= A X + A_0 \\ Z &= B X + B_0 \end{aligned}$$

式中 $A$ 、 $B$ 为函数的系数阵; $A_0$ 、 $B_0$ 为常数项阵。若已知向量 $X$ 的协方差阵 $D_{XX}$ ,则有:

$$\left. \begin{aligned} D_{YY} &= A D_{XX} A^T \\ D_{ZZ} &= B D_{XX} B^T \\ D_{YZ} &= A D_{XX} B^T \\ D_{ZY} &= B D_{XX} A^T \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式(2)统称为协方差传播律。式中 $D_{YY}$ 、 $D_{ZZ}$ 主对角元素是各函数的方差,非主对角元素分别为相应两函数的协方差。而 $D_{YZ}$ 、 $D_{ZY}$ 为向量 $Y$ 、 $Z$ 对向量 $Z$ 、 $Y$ 的互协方差阵。互协方差阵一般不是方阵,其元素为相应两函数的协方差。互协方差阵可以描述两组向量间的关系,若 $D_{YZ}=D_{ZY}=0$ ,则称向量 $Y$ 与向量 $Z$ 是两组相互独立的向量。当向量 $Y$ 和 $Z$ 的维数 $m=t=1$ 时,即 $Y$ 、 $Z$ 都是一个函数时,有 $D_{YZ}=D_{ZY}=\sigma_{YZ}$ , $\sigma_{YZ}$ 即函数 $Y$ 关于 $Z$ 的协方差。

若观测值之间相互独立, $D_{XX}$ 则为对角阵,即

$$D_{XX} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & \sigma_2^2 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

又当 $m=t=1$ 时,有

$$\begin{aligned} D_{YY} &= \sigma_Y^2 = a_1^2 \sigma_1^2 + a_2^2 \sigma_2^2 + \cdots + a_n^2 \sigma_n^2 \\ D_{ZZ} &= \sigma_Z^2 = b_1^2 \sigma_1^2 + b_2^2 \sigma_2^2 + \cdots + b_n^2 \sigma_n^2 \end{aligned}$$

若用 $m^2$ 代替相应的 $\sigma^2$ ,有

$$\left. \begin{aligned} m_Y^2 &= a_1^2 m_1^2 + a_2^2 m_2^2 + \cdots + a_n^2 m_n^2 \\ m_Z^2 &= b_1^2 m_1^2 + b_2^2 m_2^2 + \cdots + b_n^2 m_n^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

式(3)和式(4)称为独立观测值的误差传播律,式中 $a_i$ 、 $b_i$ 为线性函数 $Y$ 、 $Z$ 的未知数 $x_i$ 的系数。

非线性函数的协方差传播律 对于非线性函数,一般按泰勒级数展开,只保留零阶和一阶项,即将非线性函数线性化,然后再用线性函数的协方差传播律求

方差或协方差阵。

(马全玲)

chenjing zaojingfa shigong celiang

沉井凿井法施工测量 (construction survey for deep shaft sinking)

用沉井法掘凿立井时的施工测量工作。沉井凿井法用于不稳定含水表土层中,其实质是预先在井筒位置掘砌一段沉井井壁,其下部安设沉井刃脚。在沉井壁的保护下,边掘进边下沉,井壁也不断砌筑增高。测量的目的是保证沉井施工顺利进行和沉井井筒的偏斜率满足设计要求。测量内容有套井施工测量、刃脚安装检查、沉井偏斜测量、井壁接高测量、刃脚高程测量、井筒位移测量和沉降观测。

套井施工测量 依据井筒中心和井筒十字中线标定套井锁口,设置中心垂球线,指示套井的挖掘和砌壁工作。

刃脚安装检查 包括刃脚制作检查和钢靴就位检查。

(1)刃脚制作在平台上进行,平台面应水平,且标出十字中线。刃脚组装成型时使钢靴中心与平台十字中线交点重合。在钢靴上做出十字中线标记,用水准仪抄平钢靴刃尖。

(2)刃脚钢靴就位测量。将制作好的钢靴吊放在套井底的设计位置上,抄平刃脚尖使其在同一水平面上;使钢靴圆心与沉井设计中心重合,钢靴上十字中线标记与沉井十字中线重合。

(3)组立刃脚模板时,根据边垂线检查模板平面位置和垂直度;用水准仪检测模板上口高程和水平度。

沉井偏斜测量 采用水平点高差法。当沉井上口与套井口平齐时,用钢尺自刃脚尖沿外缘向上丈量一垂距至沉井壁上口设 $A$ 点,再沿十字中线及与其成 $45^\circ$ 方向上设4~8个水平点(图1)。根据相似三角形原理, $\triangle ABC \sim \triangle O_1HO_2$ ,即有沉井偏斜率 $i = h/AB = e/O_1H$ ,则偏斜值 $e = i \times O_1H$ 。测斜时,用水准仪由井口水准基点引测各水平点高程,以 $A$ 点为准求得各点间高差,即可根据上式求得井筒偏斜率和偏斜值。每下沉一次测量一次。当采用淹水沉井时,因井筒内有泥浆,井筒偏斜可采用超声波测井仪测量或电感测斜仪测量。

沉井井壁接高测量 有模板接高测量和滑升模板接高测量。

模板接高测量 用中心垂球线将沉井壁上口中心 $O'$ 引到上层模板顶部,加入实测偏斜值得到接高后沉井壁顶面中心 $O$ 。以 $O$ 为准调整模板,用靠尺使模板下口与沉井顶面对准,上下成一直线且与沉井中心轴

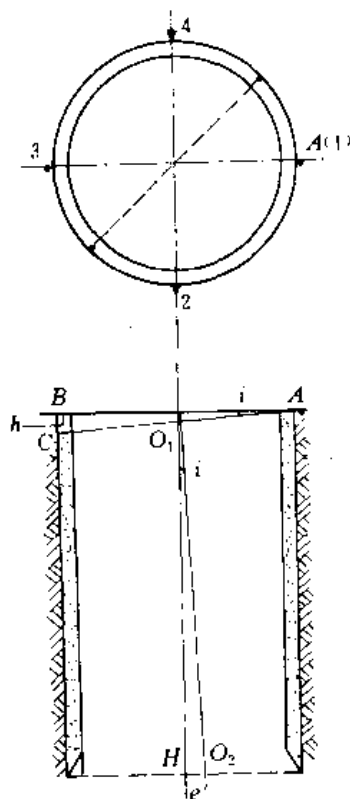


图1 水平点高差法测斜

线平行,模板顶面与沉井壁顶面平行,且垂直于沉井中心线(图2)。

**滑升模板接高测量** 在模板上安装连通管,用水准仪标出4~8个水平点。滑升后,根据各点水柱的高低来确定模板水平度。也可用钢尺丈量水平点至模板上口的垂距,且使之相等。

**刃脚高程测量** 为掌握刃脚入土深度,分析下沉能力的变化,防止偏挖和突沉,要经常进行刃脚高程和工作面高程测量。方法是依据井口水准基点,测量沉井上口各水平点高程,求得平均高程 $H_0$ 。 $H_0$ 减去各次接

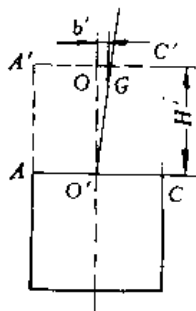


图2 接高井壁测量

高井壁的高度和原刃脚高度之和 $\Sigma h_i$ ,即得刃脚顶面高程 $H$ 。由沉井上口各水平点,用测绳挂重锤放入井内,测得垂深。 $H_0$ 减去平均垂深 $h_0$ ,即得工作面高程(图3)。

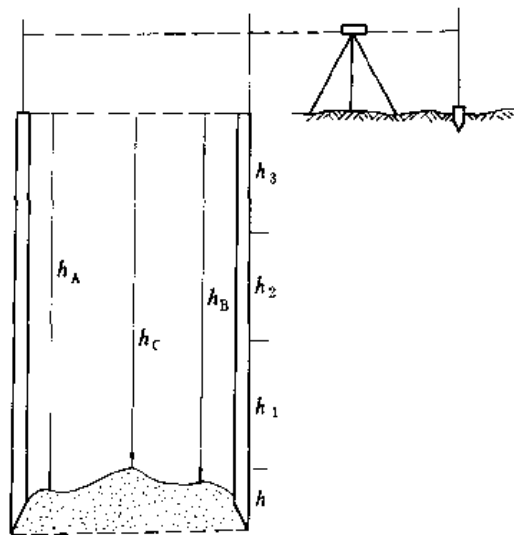


图3 刃脚高程及工作面高程测量

**井筒位移测量及沉降观测** 沉井施工过程中,由于不断地接高、下沉、纠偏,使井筒中心发生位移,从而偏离设计位置。套井及井架的不均匀沉降也给沉井施工带来困难,因而在施工阶段直至沉井结束,需进行井筒位移测量及沉降观测。

**井筒位移测量** 在沉井上口十字中线交点挂垂球线,以导线测量法求得井筒中心坐标值。根据不同深度水平上的测斜成果——偏斜方位和偏斜值,在图纸上展绘各水平井筒中心,用作图法求出井中的实际坐标,与原井中坐标比较即得位移量,进而求得井筒的有效断面。

**套井及井架沉降观测** 在套井十字中线上和井架基础上设观测点,依据井口水准基点,定期测量各测点高程。计算各次下沉量,并对井架进行倾斜观测。对沉井周围地表作沉降观测。

(刘 林)

## chuliang guanli

**储量管理 (reserves management)** 测定和统计煤矿煤炭储量动态及开采损失量,以指导、监督合理地开采煤炭资源的工作。目的是为了减少损失,充分利用煤炭资源。具体的任务和内容是:①查清煤炭资源情况,定期测算并上报储量的变化及开采、损失情况;

②根据煤炭工业技术政策的要求,对资源的合理开采实行业务监督;③积极寻找煤炭资源,扩大开采范围,增加可采储量;④进行储量报损、注销,地质损失转出转入的呈报及审批工作;⑤参与制定、分析各种回采率设计指标及检查其执行情况。储量管理包括储量计算、储量动态管理、开采损失量管理和资源保护。

**储量计算** 将煤层进行块段划分,并对各块段依其可靠程度和可利用程度进行分级和分类,然后按不同时期煤炭工业技术政策的要求,确定可采边界和各项计算指标,计算各级、各类储量数字。储量分级是把已探明的煤炭储量按其可靠程度分为 A、B、C、D 四级,为煤矿设计、规划和生产提供依据。储量分类是根据我国能源政策和煤炭资源的能利用程度分为能利用储量和暂不能利用储量。

**储量动态管理** 对煤炭开采引起的储量增减,进行统计、分析与办理审核手续等的工作。煤炭储量数字的不断变化,是由于:①补充勘探、生产勘探、探采对比证实煤层厚度、地质构造、井田边界等改变引起的储量增减;②开采过程中的动用储量(采出量与损失量之和)的变化。

**开采损失量管理** 见实际损失煤量。

**资源保护** 为提高资源回收,减少损失而对煤矿的生产活动进行的技术监督检查工作。如:①在设计阶段,对设计意图以及巷道布置、采煤方法、煤柱留设、煤层配采、采区回采率指标等诸方面,进行审查,对违反国家规定的设计,提出改进意见;②在开拓阶段,在现场调查了解各种煤柱尺寸、薄煤层或构造复杂区掘进施工情况等,发现不符合设计规定的,向上级及有关部门反映;③在回采阶段,按照采煤作业规程的规定,对分层厚度、采高、煤柱回收、顶底留煤厚度等,进行调查、测量,发现不符合规程要求时,及时上报;④采掘工作结束前,参加现场检查验收,参与确定其停采和搬迁的处理意见。

储量管理工作是矿山测量的任务之一。1922年,苏联决定在部长会议下设国家矿山总局监督局矿山测量检查部,并确定了矿山测量师在资源监督方面的法律地位。1955年1月,中国燃料工业部制定了《煤矿及油母页岩矿用井工方法开采时各种埋藏量动态和煤及油页岩损失的统计试行规程》。1982年,煤炭工业部颁布了《关于合理开采煤炭资源提高回采率的若干规定》(试行)和《关于生产矿井储量及损失量计算办法的规定》(试行)。1983年,颁布了《生产矿井储量管理规程》(试行)。

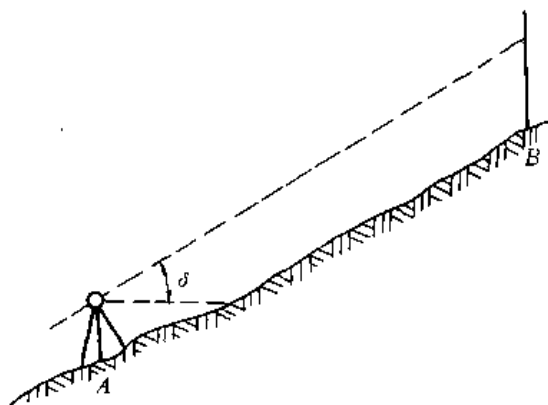
(马启勋)

chuishijiao celiang

**垂直角测量** (vertical angle survey) 测定一点到目标的方向线和一特定方向之间在同一竖直面内的夹角的工作。通常以水平方向或天顶方向(铅垂方向的反方向)作为特定方向。目标方向和水平方向间的夹角称为垂直角,又称高度角。方向线指向水平线以上时称仰角,角值  $0^\circ \sim +90^\circ$ ; 指向水平线以下时称俯角,角值  $0^\circ \sim -90^\circ$ 。目标方向和天顶方向之间的夹角称为天顶距,角值  $0^\circ \sim 180^\circ$ 。

常用经纬仪测垂直角。经纬仪的竖盘度盘固定在望远镜旋转轴的一侧,随望远镜一起转动。竖盘读数的指标线部件带有水准管。望远镜视准轴呈水平时,调平水准管气泡,对准指标线的度盘读数为“特定值”。不同型号经纬仪的竖盘刻划方式不同,“特定值”也不同。竖盘以全圆顺时针登记的经纬仪,正镜位置时为  $90^\circ$ ,倒镜位置时为  $270^\circ$ 。当望远镜视准轴水平、竖盘水准管气泡居中时,竖盘指标读数常与规定的“特定值”不一致。它们之间的差值称为竖盘指标差  $i$ 。校准水准管,可使指标差为零。

测量点 A 对点 B (见图) 方向的垂直角  $\delta$  时,经



垂直角测量

经纬仪设在点 A 上,整平、对中后,以正镜位置照准点 B 的觇标,调平指标线水准管气泡,读出度盘读数  $L$ ; 然后,纵转望远镜,以倒镜位置再照准点 B 的觇标,并读出度盘读数  $R$ ,这样就完成一个测回。照准方向的垂直角和该经纬仪的指标差为:

$$\delta = \frac{L - R}{2} + 90^\circ$$

$$i = \frac{L + R}{2} - 180^\circ$$

取正镜、倒镜观测值计算垂直角  $\delta$ ,可消除指标差的影响。同一经纬仪的指标差在一测站上观测时,可视为常



值,为了保证观测质量,需对每次观测值计算出的指标差的变化范围( $i$ 值的互差)加以限制。

现在,经纬仪的竖直度盘多数配有自动归零装置,经纬仪照准目标后即可读数,不需调指标水准管气泡。

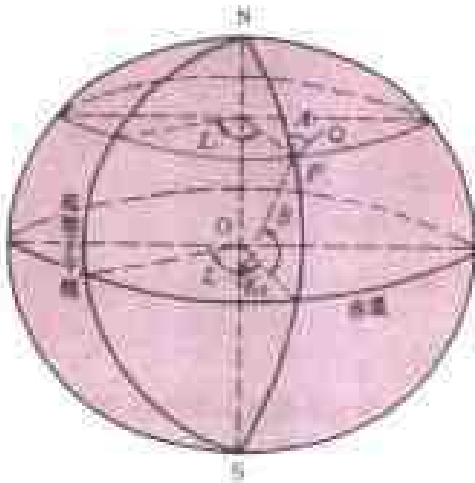
大气折光影响垂直角测量的精度。中午前后的大气垂直折光变化最小,有利于垂直角测量。视距较大时,还要考虑地球曲率的影响。

(胡昌斌)

# D

dadi zuobiao

**大地坐标** (geodetic coordinate) 大地测量以接近大地水准面(见高程系统)的参考椭球作为测量的基准。大地坐标系是大地测量的基本坐标系,以参考椭球面为基准面,以点的法线为基准线。地面上一个点的大地坐标用大地经度  $L$ 、大地纬度  $B$ 、大地高  $H$  表示。如图,过  $P$  点的子午面与起始子午面(通过英国格林尼治天文台的子午面)之间的两面角,称  $P$  点的大地经度;角值  $0^\circ \sim 180^\circ$ ,向东为东经,向西为西经。过  $P$  点的椭球面法线与赤道平面的夹角,称  $P$  点的大地纬度;从赤道面起算,角值  $0^\circ \sim 90^\circ$ ,向北为北纬,向南为南纬。 $P$  点沿法线方向到椭球面的距离称为大地高。



地球椭球的几何元素

大地经度和大地纬度是以大地原点为起算点,根据地面观测数据在椭球面上逐点推算求得。大地高一般分两段测定,其中地面点至大地水准面或似大地水准面的一段由水准测量结果加上重力改正而得(见高程系统),由大地水准面或似大地水准面至椭球面的一段由物理大地测量方法求得。大地高也可直接由卫星

大地测量方法测定。

过  $P$  点和  $Q$  点的法截面与  $P$  点的子午面之间的两面角,称为  $PQ$  方向的大地方位角  $A$ 。由  $P$  点的正北起按顺时针方向计,角值  $0^\circ \sim 360^\circ$ 。

地心坐标系是以一个中心与地球质量中心相重合的地球椭球为参考所建立的大地坐标系。

地理坐标系是以地极为极,以与之相对应的赤道为基本圈的坐标系,以地理经度和地理纬度表示地面点的位置。由于地球的极移,须建立以平极为极、平赤道为基本圈的地理坐标系。

**天文坐标** 以大地水准面为基准面,铅垂线为基准线,表示地面点位置的坐标系,以天文经度  $\lambda$  和天文纬度  $\varphi$  表示。地面点按铅垂方向投影到大地水准面上。通过地面  $P$  点的铅垂线,并与地球旋转轴相平行的平面称天文子午面,它与起始子午面间的两面角称  $P$  点的天文经度。过  $P$  点的铅垂线与赤道面的交角称  $P$  点的天文纬度。过  $P$  点并通过大地水准面上另一点的铅垂面,与  $P$  点的天文子午面间的两面角称  $P$  到该点的天文方位角。

$P$  点沿铅垂线方向至大地水准面的距离称该点的正高。

天文经度、天文纬度是用天文观测方法测得的。各点的天文经、纬度是独立的,相互间没有联系。

**参考椭球定位** 按一定条件将确定参数的地球椭球同大地的相对位置固定下来,从而获得大地测量计算基准面和大地起算数据。定位的条件是:椭球短轴与地轴相平行;椭球面与大地水准面充分接近。在这样的条件下,以精密天文观测测定地面点的天文经度  $\lambda_0$ 、天文纬度  $\varphi_0$ ,以及它至相邻点方向的天文方位角  $\alpha_0$ ;由水准测量测定该点的正高。然后与大地坐标、大地方位角、正高之间建立最简单的关系式。按推求定位元素的方式不同,可分为“一点定位”和“多点定位”。建立国家大地网初期,认为该点为大地原点,它的天文经度为  $\lambda_0$ 、天文纬度为  $\varphi_0$ ,该点与相邻点大地方位角为  $A_0$ 。因不知该点的垂线偏差  $\xi_0$ 、 $\eta_0$  和大地水准面差距  $N_0$ ,



假设它们都等于零。于是获得大地起算数据:  $B_0 = \varphi_0$ ,  $L_0 = \lambda_0$ ,  $A_0 = \alpha_0$ ,  $N_0 = 0$ 。这种定位叫“一点定位”。如果国家大地网建成, 并按  $\Sigma N^2 = \text{最小}$  或  $\Sigma (\xi_0^2 + \eta_0^2) = \text{最小}$  准则完成弧度测量计算, 即可求得大地原点上的  $\xi_0$ 、 $\eta_0$  和  $N_0$ , 于是获得大地起算数据:  $B_0 = \varphi_0 - \xi_0$ ,  $L_0 = \lambda_0 - \eta_0 \sec \varphi_0$ ,  $A_0 = \alpha_0 - \eta_0 \tan \varphi_0$ ,  $N_0 = N_0$ 。因为在弧度计算中包括许多拉普拉斯点, 这种定位叫“多点定位”。按椭球中心与地心的关系, 可分为局部定位和地心定位。局部定位往往只要求在一定范围内椭球面与大地水准面充分接近, 不要求椭球中心与地心一致。地心定位要求椭球中心与地心一致。

由于采用的参考椭球定位参数的不同, 中国现存 1954 年北京坐标系和 1980 年国家大地坐标系两个国家大地坐标系。

(1) 1954 年北京坐标系。在中国天文大地网建立初期, 鉴于当时的历史条件, 采用了克拉索夫斯基椭球参数 (坐标原点在前苏联的普尔科沃), 经与前苏联大地网联测, 于 1954 年确定的坐标系。

(2) 1980 年国家大地坐标系。该系统采用 16 届国际大地测量协会 (IAG) 推荐的椭球参数值: 长半轴  $a = 6\,378\,140\text{m}$ 、扁率  $\alpha = 1/298.257$ 。坐标原点建立在中国陕西省泾阳县永乐镇。在大地原点上完成了精密天文观测, 并通过精密水准测量计算了原点的正常高, 确定了大地测量起算数据。1980 年国家大地坐标系建成后, 依据这个坐标系完成了中国天文大地网的整体平差。

(胡昌灿 李斐斐)

daoru gaocheng celiang

**导入高程测量** (induction height survey)

将地面高程系统经斜井、平硐或立井传递到井下的测量工作, 又称高程联系测量。任务是确定井下高程基点的高程, 使井上下采用同一高程系统。

采用斜井或平硐开拓时, 导入高程测量可由地面井口高程基点沿斜井或平硐用三角高程测量或水准测量进行。立井导入高程有钢尺法、钢丝法及光电测距仪法。

**钢尺法** 立井中悬挂钢尺导入高程的方法。将缠绕在绞车上的钢尺挂于井内 (图 1), 下端悬挂重垂球, 给钢尺施以比长时的拉力。井上、下各安置一台水准仪, 分别读取立于高程基点  $A$ 、 $B$  上的水准尺读数  $a$ 、 $b$  及钢尺读数  $m$ 、 $n$ 。同时在井口及井底测量钢尺温度  $t_{\text{上}}$  和  $t_{\text{下}}$ 。

井下高程基点  $B$  的高程为:

$$H_B = H_A - h$$

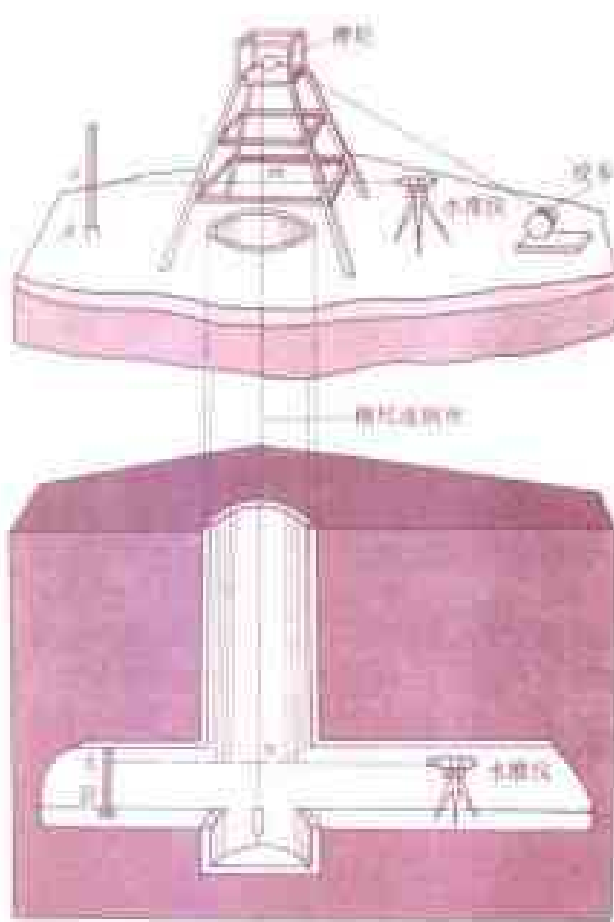


图 1 钢尺法或钢丝法导入高程

$$\begin{aligned} h &= (m - n) + (b - a) + \Sigma \Delta l \\ \Sigma \Delta l &= \Delta l_k - \Delta l_t + \Delta l_e \\ \Delta l_k &= k(m - n) \\ \Delta l_t &= \alpha(m - n) \left( \frac{t_{\text{上}} + t_{\text{下}}}{2} - t_0 \right) \\ \Delta l_e &= \frac{\gamma}{2E} (m - n)^2 \end{aligned}$$

式中  $H_A$  为井口高程基点  $A$  的高程;  $h$  为  $A$ 、 $B$  两点之间的高差;  $\Sigma \Delta l$  为钢尺的总改正数, 包括比长改正数  $\Delta l_k$ 、温度改正数  $\Delta l_t$  和钢尺自重伸长改正数  $\Delta l_e$ ;  $k$  为钢尺每米的比长改正数;  $\alpha$  为钢尺的温度膨胀系数,  $\alpha = 1.15 \times 10^{-5}$ ;  $t_0$  为钢尺比长时的标准温度;  $\gamma$  为钢尺的相对密度,  $\gamma = 7.8\text{g/cm}^3$ ;  $E$  为钢尺的弹性系数,  $E = 2 \times 10^6\text{kg/cm}^2$ 。

**钢丝法** 立井中悬挂钢丝导入高程的方法 (图 1)。由于钢丝上无刻划, 须在钢丝上用特制的标线夹, 在井上、下水准仪视线水平做出标记  $m$  和  $n$ , 然后将钢丝提升到地面, 用光电测距仪、钢尺或井口附近设置专

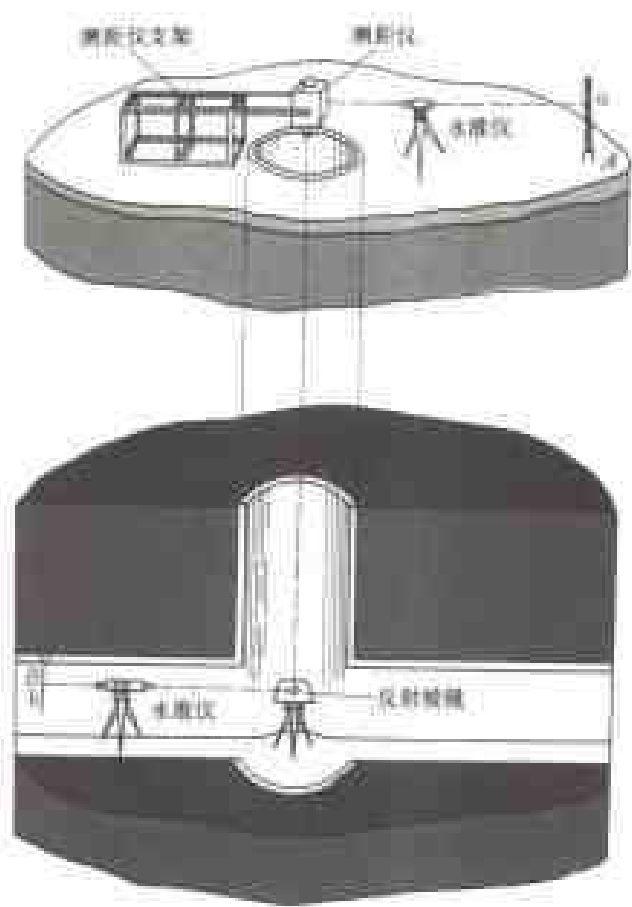


图2 光电测距仪导入高程

门的量长台来丈量两标记之间的距离。

采用光电测距仪或钢尺在地面测量时，可在平坦地面上将钢丝拉直，并施加与导入高程时给钢丝所加的相同的拉力，依据钢丝上的标记  $m$ 、 $n$ ，在实地上打木桩用小钉做出标志。然后用光电测距仪或钢尺丈量两标志  $m$ 、 $n$  之间的距离。当在井口附近设置量长台时，在量长台上设置一根钢尺，随着钢丝的提升，分段丈量两标志  $m$ 、 $n$  之间的距离。

**光电测距仪法** 用光电测距仪传递高程的方法。将光电测距仪安置在井口的专用支架上，使视线竖直向下（图2），或是将测距仪安置在井口附近，在井口上方安置一个平面反射镜，将测距仪的视线转折  $90^\circ$ ，瞄准井底的棱镜，测量出垂直距离。再用水准仪测出地面高程基点  $A$  与测距头间的高差，及井下高程基点  $B$  与井底棱镜之间的高差，从而求得井下高程基点  $B$  的高程。

（朱家钰）

### daoxian celiang

**导线测量** (traverse survey) 在地面沿着一条路线选择一系列点，在点上设置测站，采取既测边又测角的方式，测定这些点平面位置的方法。是矿区建立控制点的常用方法。

由直线连接相邻点而形成一系列连续的折线称为导线。折线的转折点称为导线点，相邻导线点之间的直线称为导线边，相邻导线边之间的水平夹角称为导线转折角，简称折角。测量相邻点间距离，并在每一点上用经纬仪观测折角，从一已知点坐标和一条已知方位角的边出发，利用测得的边长和折角值，可依次推算出各导线点的平面位置。

导线宜布设成直伸形状。为控制量边和测角误差的积累，导线终点一般为已知点。附合在两高级点间的单一导线，称为附合导线，如图1所示。附合在同一高级点间的单一导线，称为闭合导线。当敷设多条导线形成一个或多个结点时，称为结点导线网，如图2所示。当有两个以上闭合环时，称为多边形导线网。

导线测量依测距方法不同，分为光电测距导线和

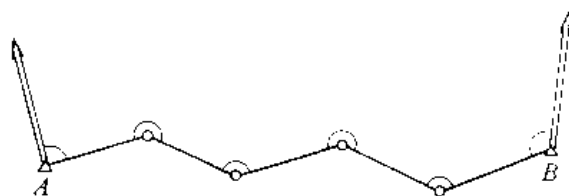


图1 附合导线

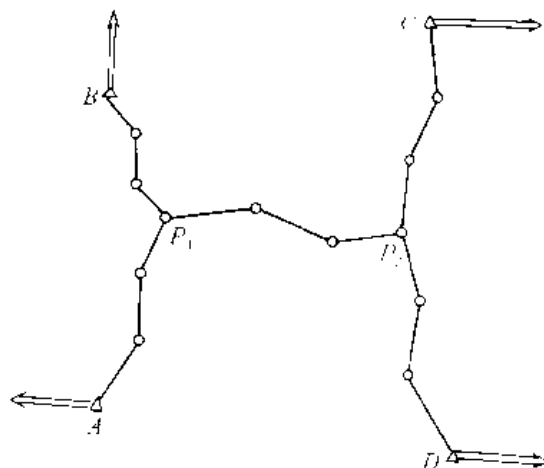


图2 两个结点导线网

钢尺量距导线。按精度要求不同分为等级导线和图根导线。在矿区一般布设三、四等导线和一、二级导线。

**光电测距导线** 用光电测距仪测定各边长的导线。水平角观测方法, 根据具体情况而定, 测单角时采用测回法, 观测三个或三个以上方向时(如在结点上)采用方向观测法(见水平角测量)。对于等级导线, 当转折角只有两个方向时, 宜观测其左角和右角。自 20 世纪 70 年代中期开始, 随着中、短程光电测距仪的发展和广泛应用, 在矿区普遍采用光电测距导线。由于光电测距受地形条件限制较小, 作业迅速, 精度较高, 已趋于以三、四等光电测距导线代替三、四等三角测量建立平面控制点。在进行三、四等光电测距导线测量时, 在两端点上测定温度、气压, 并进行往、返测距(或两个时间段观测), 以减小气象等因素对测量成果的影响。对一、二级光电测距导线, 可以单向观测距离, 并只在测站上测定温度、气压。

**钢尺量距导线** 用钢尺丈量各边长的导线。用于矿区一、二级导线。距离测量是用经过检定的钢尺往、返丈量或双尺同向丈量。在量距时应施加与检定时相同的拉力, 读取温度, 对边长进行温度改正。测定高差, 对边长进行倾斜改正。水平角观测方法与光电测距导线相同。

(刘光宗)

## daoxian celiang yanmi pingcha

### 导线测量严密平差 (rigorous adjustment of traverse survey)

为消除导线测量中由多余观测引起的矛盾, 依据最小二乘准则求待定量最佳估值及评定精度所进行的计算工作。不同的导线网形结构, 选择不同的平差方法。通过导线测量平差, 实现导线中由任一已知点及其后视方位边起算, 推算至某一中间导线点的坐标(或某一边的方位角)均相等, 即消除了观测值之间的矛盾。

**单导线按条件平差** 基本程序是以角度(或方向)观测值及边长观测值列立条件方程式, 组成法方程并解算求得联系数, 计算观测值改正数, 计算待定点坐标平差值及评定精度。平差中必须正确确定边长和角度

观测值的权, 设置尺度比未知数。

**单一附合导线条件方程** 图 1 中,  $A, B, C, D$  为导线已知点,  $x_1, y_1, x_{n+1}, y_{n+1}$  分别表示  $A, C$  已知坐标值,  $\alpha_0, \alpha_{n+1}$  分别表示  $AB, CD$  边的已知方位角,  $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_{n-1}$  为角度观测值,  $D_1, D_2, \dots, D_n$  为边长观测值。此时, 有条件方程式:

$$[v_{\beta}]_1^{n+1} + w_s = 0$$

$$[\cos \alpha_0^0 v_{D_1}]_1^n - (1/\rho'')[(y_{n+1}^0 - y_1^0)v_{\beta_1}]_1^n + w_x = 0$$

$$[\sin \alpha_0^0 v_{D_1}]_1^n - (1/\rho'')[(x_{n+1}^0 - x_1^0)v_{\beta_1}]_1^n + w_y = 0$$

式中  $w_s = \alpha_0 + [\beta]_1^{n+1} + n180^\circ - \alpha_{n+1}$ ;  $w_x = x_{n+1}^0 - x_{n+1}$ ;  $w_y = y_{n+1}^0 - y_{n+1}$ ;  $v_{\beta_i}$  表示角度观测值改正数;  $v_{D_i}$  表示边长观测值改正数;  $x_i^0, y_i^0$  为由观测值算得的各待定点近似坐标值;  $\alpha_i^0$  为由角度观测值计算得的导线边方位角近似值。

**单一闭合导线条件方程** 图 2 中,  $A$  为已知点, 其坐标值为  $x_{n+1}, y_{n+1}$ ,  $\beta_i$  为角度观测值,  $D_i$  为边长观测值, 条件方程式为:

$$[v_{\beta}]_1^{n+1} + w_s = 0$$

$$[\cos \alpha_0^0 v_{D_1}]_1^{n+1} - (1/\rho'')[(y_{n+1}^0 - y_1^0)v_{\beta_1}]_1^n + w_x = 0$$

$$[\sin \alpha_0^0 v_{D_1}]_1^{n+1} - (1/\rho'')[(x_{n+1}^0 - x_1^0)v_{\beta_1}]_1^n + w_y = 0$$

式中  $w_s = [\beta]_1^{n+1} - [(n+1) - 2] \times 180^\circ$ ;  $w_x = x_{n+1}^0 - x_{n+1}$ ;  $w_y = y_{n+1}^0 - y_{n+1}$ ;  $v_{\beta_i}$  为角度改正数,  $v_{D_i}$  为边长改正数,  $x_i^0, y_i^0$  为近似坐标值,  $\alpha_i^0$  为方位角近似值。

**边角权的确定** 导线网的观测元素角度和边长是两类不同的量, 平差时必须统一确定角度观测值的权和边长观测值的权。各导线点角度等精度观测时,

$$\rho_{\beta} = 1, \quad \rho_{D_i} = \frac{m_{\beta}^2}{m_{D_i}^2}$$

式中  $m_{\beta}$  为测角中误差,  $m_{D_i}$  为测边中误差。

按最小二乘准则对导线进行平差, 实质上就是按照边角观测值各自的权来分配由多余观测而产生的闭合差。因此正确地确定边、角权之间的关系是很重要的。倘若权确定的不合理, 就有可能把应改正于角度的值改正到边长上去, 或相反。所以在平差之后应进行假设检验, 只有检验通过之后才能说明边角权确定的合理, 否则应作修正, 再进行平差计算和作统计假设检验。

**尺度比未知数** 依最小二乘准则, 含有系统误差的观测值是不应该参加平差的。但在导线测量中, 常会发现边长值存在着系统性长度差, 此时要想将

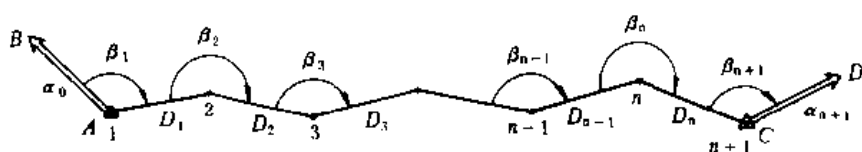


图 1 符合导线

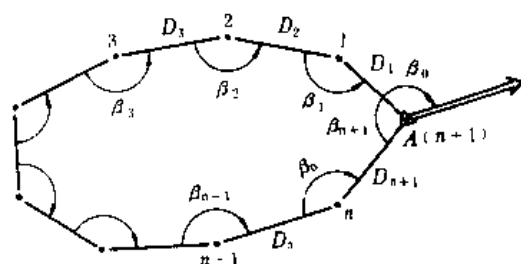


图2 闭合导线

观测值强制地附和到已知值上，又不致使改正数大到不合理的程度，就需要用一个比例系数去乘实测边长值，用缩放后的边长值组成条件方程式。但这个比例系数在平差前又难以准确确定，需要作为未知数列立在条件方程式中，通过平差计算获得准确解，这个比例系数就称为尺度比未知数。设置尺度比未知数后，坐标条件方程式的组成形式为：

$$\begin{aligned} [\cos \alpha_k^0 v_{D_k}]_1^n - (1/\rho'')[(y_{n+1}^0 - y_1^0)v_{\beta_1}]_1^n \\ + (x_{n+1}^0 - x_1^0)\delta\hat{\mu} + w_x = 0 \\ [\sin \alpha_k^0 v_{D_k}]_1^n - (1/\rho'')[(x_{n+1}^0 - x_1^0)v_{\beta_1}]_1^n \\ + (y_{n+1}^0 - y_1^0)\delta\hat{\mu} + w_y = 0 \end{aligned}$$

式中  $\delta\hat{\mu}$  为尺度比未知数近似值的改正数。

精度评定 单位权中误差按下式计算：

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[p_D v_D v_D] + [p_\beta v_\beta v_\beta]}{n - t}}$$

式中  $p_D$ 、 $p_\beta$  分别为边长观测值和角度观测值的权； $v_D$ 、 $v_\beta$  分别为边长观测值、角度观测值的改正数； $n$  为观测值的个数； $t$  为未知数个数。

平差后边长、坐标方位角、导线点坐标中误差的计算实质上就是计算平差值函数中误差，其权函数式的一般形式分别为：

$$\text{导线边平差值权函数式 } V_{rD_k} = v_{D_k}$$

$$\text{坐标方位角平差值权函数式 } V_{r\alpha_k} = [\beta_k]$$

$$\text{坐标平差值权函数式}$$

$$V_{rx_1} = [\cos \alpha_1^0 v_{D_1}]_1^{n-1} - (1/\rho'')[(y_1^0 - y_n^0)v_{\beta_1}]_1^{n-1} \\ + (x_1^0 - x_n^0)\delta\hat{\mu}$$

$$V_{ry_1} = [\sin \alpha_1^0 v_{D_1}]_1^{n-1} - (1/\rho'')[(x_1^0 - x_n^0)v_{\beta_1}]_1^{n-1} \\ + (y_1^0 - y_n^0)\delta\hat{\mu}$$

导线网按间接平差 将待定点的坐标平差值作为未知数，导线边和水平角的观测值作为未知数的函数，列立观测值改正数与待定点近似坐标改正数之间关系式即误差方程式，组成和解算法方程，解出未知数，进而算出导线边、水平角观测值的改正数及其平差

值以及待定点的坐标平差值。角度观测值  $\beta$  和边长观测值  $D$  的误差方程式的组成形式分别为：

$$\begin{aligned} v_\beta &= (a_{k1} - a_{k1}^0)\delta x_k + (b_{k1} - b_{k1}^0)\delta y_k - a_{k1}^0\delta x_i \\ &\quad - b_{k1}^0\delta y_i + a_{ki}^0\delta x_i + b_{ki}^0\delta y_i + l_\beta \\ v_{D_k} &= -\cos \alpha_{ki}^0\delta x_k - \sin \alpha_{ki}^0\delta y_k + \cos \alpha_{ki}^0\delta x_i \\ &\quad - \sin \alpha_{ki}^0\delta y_i + l_{D_k} \end{aligned}$$

式中  $a_{ki} = \rho \sin \alpha_{ki}^0 / D_{ki}^0$ ， $b_{ki} = \rho \cos \alpha_{ki}^0 / D_{ki}^0$ ， $l_{D_{ki}} = D_{ki}^0 - D_{ki}$ ； $l_\beta = (\alpha_{ki}^0 - \alpha_{ki}^0) - \beta$ ； $\delta x$ 、 $\delta y$  为坐标近似值改正数； $\alpha^0$ 、 $D^0$  为依近似坐标值算得的近似方位角和近似边长值。

导线网按相关间接平差 当导线网形结构复杂时（图3），可采用相关间接平差法。该方法的基本思路是将每个导线节的两端用虚线连接起来（称为相关观测边），用导线的原观测值算出相关观测边的相关观测值（边长值、方向值）和相应的协因数阵。然后，选取每个导线节的已知点和结点上的定向角观测值的平差值及结点坐标平差值作为未知数，组成相关观测值的误差方程式，并顾及相应的协因数阵组成法方程，解得未知数。根据未知数算出相关观测值的平差值，再由相关观测值的平差值反求出原观测值的改正数和平差值等。

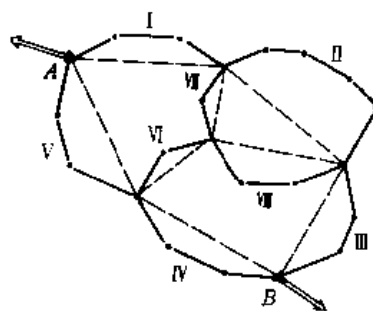


图3 导线网

相关观测值 图4为布设在结点0与n之间的一条导线，观测了全部边长和水平角。 $R_0$ 、 $R_n$  分别为定向方向的方向观测值； $r_0$ 、 $r_n$  分别为连接结点的导线边的方向观测值； $\theta_0$ 、 $\theta_n$  称为连接角。 $S$  表示相关观测边  $0n$  的长度观测值； $L_0$ 、 $L_n$  表示相关观测边的方向观测值。设0点为假定坐标系原点，点0至点1方向为假定坐标系纵轴  $x'$ ，则

$$S = \sqrt{x_n'^2 + y_n'^2}$$

$$L_0 = r_0 + \theta_0$$

$$L_n = r_n + \theta_n$$

式中  $\theta_0 = \alpha'_{0n}$ ； $\theta_n = \alpha'_{0n} - \alpha'_n$ ； $\alpha'_{0n} = \arctg(y'_n/x'_n)$ ； $\alpha'_n$ 、

$x'$ 、 $y'$ 为在假定坐标系中的方位角和坐标值。

相关观测值的协因数阵 每一线路的  $S$ 、 $L_0$ 、 $L_n$  是相关的,不同线路的则是非相关的,由它们组成的协因数阵为:

$$\begin{bmatrix} Q_{SS} & Q_{SL_0} & Q_{SL_n} \\ Q_{SL_0} & Q_{L_0L_0} & Q_{L_0L_n} \\ Q_{SL_n} & Q_{L_0L_n} & Q_{L_nL_n} \end{bmatrix}$$

式中

$$Q_{SS} = \frac{1}{S^2} [(x'_n \cos \alpha'_i + y'_n \sin \alpha'_i)^2 Q_{D_i}]_1^n + \frac{Q_\beta}{\rho^2 S^2} [(x'_n y'_i - y'_n x'_i)^2]_1^{n-1}$$

$$Q_{L_0L_0} = \frac{\rho^2}{S^4} [(x'_n \sin \alpha'_i - y'_n \cos \alpha'_i)^2 Q_{D_i}]_1^n + \frac{Q_\beta}{2} + \frac{Q_\beta}{S^4} [(S^2 - x'_n x'_i - y'_n y'_i)^2]_1^{n-1}$$

$$Q_{L_nL_n} = \frac{\rho^2}{S^4} [(x'_n \sin \alpha'_i - y'_n \cos \alpha'_i)^2 Q_{D_i}]_1^n + \frac{Q_\beta}{2} + \frac{Q_\beta}{S^4} [(x'_n x'_i + y'_n y'_i)^2]_1^{n-1}$$

$$Q_{SL_0} = \frac{\rho}{S^3} [(x'_n \cos \alpha'_i + y'_n \sin \alpha'_i)(x'_n \sin \alpha'_i - y'_n \cos \alpha'_i) Q_{D_i}]_1^n + \frac{Q_\beta}{\rho S^3} [(x'_n y'_i - y'_n x'_i)(S^2 - x'_n x'_i - y'_n y'_i)]_1^{n-1}$$

$$Q_{SL_n} = \frac{\rho}{S^3} [(x'_n \cos \alpha'_i + y'_n \sin \alpha'_i)(x'_n \sin \alpha'_i - y'_n \cos \alpha'_i) Q_{D_i}]_1^n + \frac{Q_\beta}{\rho S^3} [(x'_n x'_i - y'_n y'_i)(x'_n x'_i + y'_n y'_i)]_1^{n-1}$$

$$Q_{L_0L_n} = \frac{\rho^2}{S^4} [(x'_n \sin \alpha'_i - y'_n \cos \alpha'_i)^2 Q_{D_i}]_1^n - \frac{Q_\beta}{S^4} [(S^2 - x'_n x'_i - y'_n y'_i)(x'_n x'_i + y'_n y'_i)]_1^{n-1}$$

相关观测值误差方程 图5表示由相关观测值组

成的导线网。全网共有24个相关观测值,2个已知点定向观测方向值和14个未知数(4个待定点的8个坐标平差值,6个测站定向角平差值),这样可组成9个误差方程:

$$\begin{aligned} V_0 &= B_0 \delta x + l_0 & E \\ V_1 &= B_1 \delta x + l_1 & P_1 \\ &\dots\dots\dots & \dots \\ V_n &= B_n \delta x + l_n & P_n \end{aligned}$$

式中  $l_0$  表示已知点上的定向角观测值阵,其权阵  $E$  为单位阵; $l_1$ 、 $l_2$ 、 $\dots$ 、 $l_n$  表示各导线节的相关观测值阵; $P_1$ 、 $P_2$ 、 $\dots$ 、 $P_n$  为其相应的权阵。

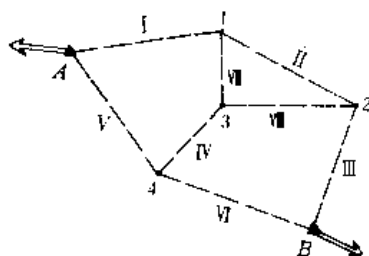


图5 相关观测值组成的导线网

原观测值平差值的计算 由上述误差方程阵组成法方程式阵,并解算求得相关观测值改正数  $v_s$ 、 $v_{l_0}$ 、 $v_{l_n}$  及权系数阵  $Q$ ,代入下式得到改正数条件方程式:

$$\begin{aligned} &\frac{1}{S} [(x'_n \cos \alpha'_i + y'_n \sin \alpha'_i) v_{l_0}]_1^n \\ &+ \frac{1}{\rho S} [(x'_n y'_i - y'_n x'_i) v_\beta]_1^{n-1} - v_s = 0 \\ &\frac{\rho}{S^2} [(x'_n \sin \alpha'_i - y'_n \cos \alpha'_i) v_{l_0}]_1^n + v_{l_0} \\ &+ \frac{1}{S^2} [(S^2 - x'_n x'_i - y'_n y'_i) v_\beta]_1^{n-1} - v_{l_0} = 0 \\ &\frac{\rho}{S^2} [(x'_n \sin \alpha'_i - y'_n \cos \alpha'_i) v_{l_n}]_1^n - v_{l_n} \\ &- \frac{1}{S^2} [(x'_n x'_i + y'_n y'_i) v_\beta]_1^{n-1} - v_{l_n} = 0 \end{aligned}$$

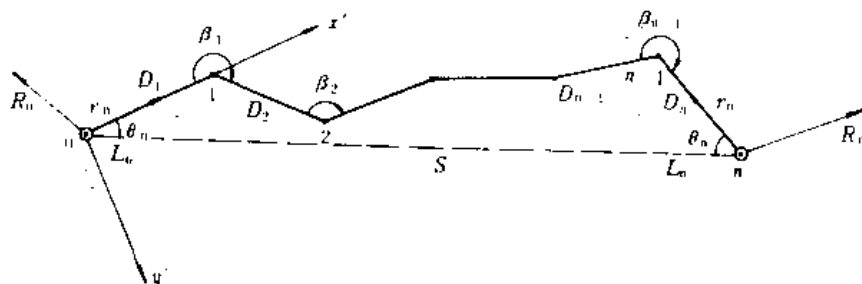


图4 导线

按条件平差法,分别组成每条导线节的方法方程,解算求得每条导线节的原观测值的平差值。

(邢永昌)

dibiao yidong celiang

# 地表移动测量 (surface movement survey)

测定埋设在地表采动区内由一系列测点组成的观测站随时间变化在空间的位置。目的是研究采矿引起的地表移动规律,解决在建筑物下、铁路下、水体下合理留设煤柱或压煤开采。

1897年,世界上第一个地表移动观测站在德国多特蒙德矿务局(Dortmund Bergamt)建立。1947年,英国煤炭局(National Coal Board, NCB)在莱斯特郡(Leicestershire)煤田进行了开采沉陷测量,根据观测资料,1966年出版了《沉陷工程师手册》。中国于1954年在开滦矿区建立了第一个地表移动观测站,之后,大部分矿区先后开展了地表移动观测工作。为详细研究整个移动盆地内的移动和变形分布,1963年在平顶山矿务局十矿建立了第一个网状观测站。1985年,中国以27个矿务局的140个观测线资料为基础,制定了《建筑物、水体、铁路及主要井巷煤柱留设与压煤开采规程》。

**观测站设置** 地表移动观测站的观测线一般设置成直线,并与煤层走向垂直或平行。在受地面建筑设施限制的情况下,也可设成折线,或因地制宜设成其他形状。

地表移动观测站一般设走向观测线和倾向观测线各一条,设在移动盆地的主断面位置(图1)。图中 $\theta$ 为最大下沉角,

当 $\alpha < 50^\circ$ 时  $\theta = 90^\circ - k\alpha$

当 $\alpha > 50^\circ$ 时  $\theta = 90^\circ - (0.4 \sim 0.2)\alpha$

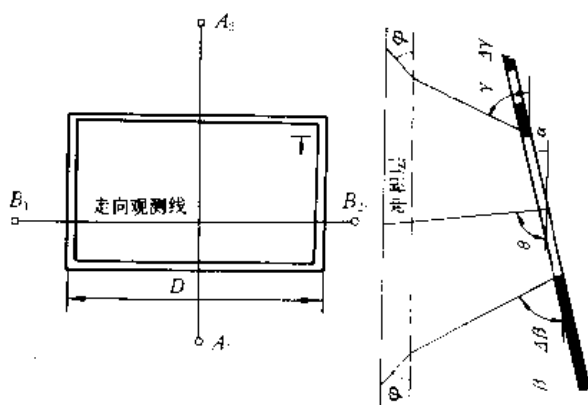


图1 观测线的设置

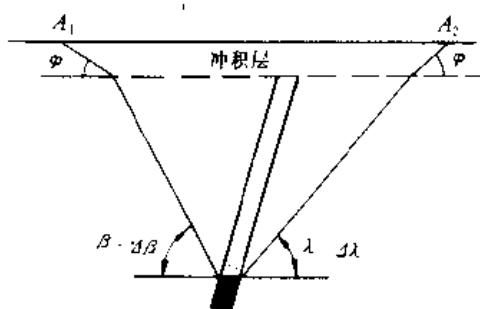
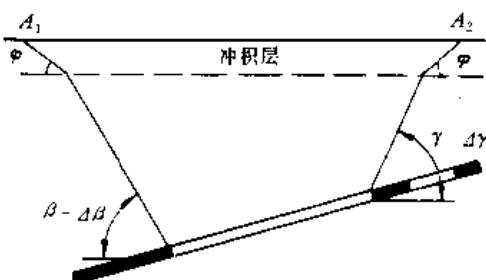
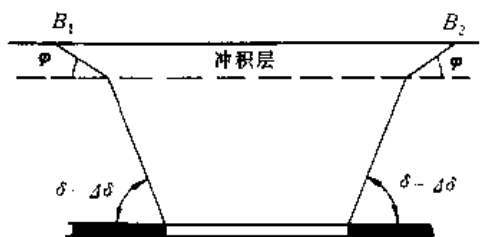


图2 观测线长度的确定

式中 $\alpha$ 为煤层倾角; $k$ 为系数,上覆岩层坚硬时为0.7~0.8,中硬时为0.6~0.7,软弱时为0.5~0.6。如回采工作面的走向长度大于 $1.4H_0 + 50\text{m}$ (式中 $H_0$ 为平均开采深度),可设两条倾向观测线,它们至少相距50m,并且距开切眼或停采线 $0.7H_0$ 以上。

观测线的长度按图2的几何关系确定。图中 $\delta$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\lambda$ 和 $\varphi$ 分别为走向、下山、上山、急倾斜煤层底板和冲积层移动角;调整角 $\Delta\delta$ 、 $\Delta\beta$ 、 $\Delta\gamma$ 和 $\Delta\lambda$ 值按表1确定。观测点间距根据开采深度按表2确定。

每条观测线两端至少要设置两个控制点,如因条件限制,可只在一端设置控制点,控制点不应少于三个,相邻两控制点的间距不小于45m。

地表移动观测站是研究地表移动规律的重要手段,观测延续时间与开采深度和上覆岩层性质有关,一般长达数年,因此建站质量和保护措施是重要环节。

表 1 调整角的确定

| 观测站数 (n) | $\Delta\alpha$ (") | $\Delta\beta$ (") | $\Delta\gamma$ (") |
|----------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 3        | 20                 | 20                | 20                 |
| 4        | 15                 | 15                | 15                 |
| 5        | 10                 | 10                | 10                 |
| 6        | 8                  | 8                 | 8                  |
| 7        | 6                  | 6                 | 6                  |
| 8        | 5                  | 5                 | 5                  |
| 9        | 4                  | 4                 | 4                  |
| 10       | 3                  | 3                 | 3                  |
| 11       | 2                  | 2                 | 2                  |
| 12       | 1                  | 1                 | 1                  |

表 2 观测点间距

| 开采深度 (m) | 点间距离 (m) |
|----------|----------|
| <50      | $\leq 5$ |
| 50~100   | 5~10     |
| 100~200  | 10~15    |
| 200~300  | 15~20    |
| >300     | 20~25    |

### 测量工作

**连接测量** 以矿区控制网为基础,测定观测站各控制点的平面坐标和高程,确定观测站与矿井的几何关系。连接测量在观测站埋设 10~15 天后进行。接近井点测量的要求测量观测线交点或一个控制点的平面坐标和高程,其余控制点的平面坐标用一级导线的观测方法求得。

**首次测量** 在连接测量后,对观测站各观测点进行开采前的最初两次全面测量。当两次测量结果的互差不超过允许误差时,取其平均值作为观测点的原始位置。

**全面测量** 以观测站控制点为起点,测定各观测点的高程及各观测点在观测线上的投影位置或平面坐标。高程测量按三等水准测量的要求进行,经平差后求得各点的高程。边长测量是用经过比长的钢尺沿观测线往返丈量。在测量时施以比长时的拉力和记录测量时的温度,丈量三次,三次长度之差不得大于 2mm。对往返边长加入各项改正数后,其相差不超过允许误差时,取其平均值作为各边的边长。支距测量用经纬仪正倒镜观测,其相差不超过允许误差时,取其平均值为支距值。

**巡视测量** 对在开切眼处上方预计的下沉曲线拐点附近的几个观测点进行高程测量,以判断地表开始移动的时间。

**加密水准测量** 为研究地表下沉速度及其与采矿

关系等而选定一些点定期进行的高程测量。

**最终测量** 在地表移动基本稳定(六个月内下沉值不超过 30mm)后进行的全面测量,其结果作为观测点的最终值。

**测量时间** 在观测站设置完 10~15 天后,受到采动之前进行首次测量。在地下煤层开采后,进行巡视测量,确定地表开始移动的时间。在地表移动初始期内,根据具体条件每隔 1~3 个月测量一次各观测点的高程。在地表移动活跃期(缓倾斜和倾斜煤层地表每月下沉值大于 50mm,急倾斜煤层地表每月下沉值大于 30mm),根据设计要求进行观测,不得少于四次全面测量。在地表移动衰退期内,每隔 3 个月进行一次水准测量,直到地表移动基本稳定为止,然后进行最终测量。

**测量资料整理** 当观测站以观测线方式设置时,每次全面测量后,要计算各点的高程及各相邻点在观测线方向上的距离(投影到观测线方向上的水平距离,下同)以及各观测点至观测线控制点的距离。通过地表受采动后与受采动前同一名义值(以下简称采后值与采前值)比较求得:①下沉  $W$ ,观测点采前高程与采后高程之差,正值表示地表下沉,反之为隆起;②倾斜  $i$ ,观测线上相邻两点下沉值之差与该两点采前间距之比,单位为 mm/m,是地表受采动引起该线段的平均倾斜,也表示该线段中点位置地表产生的倾斜;③曲率  $k$ ,观测线上相邻两线段倾斜之差与这两线段长度平均值的比值,是地表受采动引起这两线段的平均倾斜变化,单位为  $10^{-3}/m$  或  $1/km$ ,也表示这两线段中点位置地表产生的曲率,其倒数为曲率半径;④水平移动  $u$ ,观测点在观测线方向采后与采前至观测线控制点的距离之差,单位为 mm;⑤水平变形  $\epsilon$ ,观测线上相邻两点采后与采前间距之差与该两点采前间距之比,是地表受采动引起该线段长度的平均变化,当采后间距增大时,称其为拉伸变形,反之称其为压缩变形,单位为 mm/m,也表示该线段中点位置地表产生的水平变形。

水平移动和倾斜值的正负号取决于对采煤工作面所取的假定坐标系。在中国一般以采煤工作面左下角(面向上山方向时)为坐标原点; $x$ 轴与煤层走向平行,指向右边界; $y$ 轴与煤层倾向平行,指向上山方向。当观测点的水平移动方向和线段的倾斜方向与  $x$  轴或  $y$  轴的指向一致时,令水平移动和倾斜值为正值,反之为负值。

当观测线在主断面附近布设呈折线时,则依据采后和采前测得的观测点平面坐标,计算各观测点的水平移动向量,再投影到主断面上,计算移动和变形



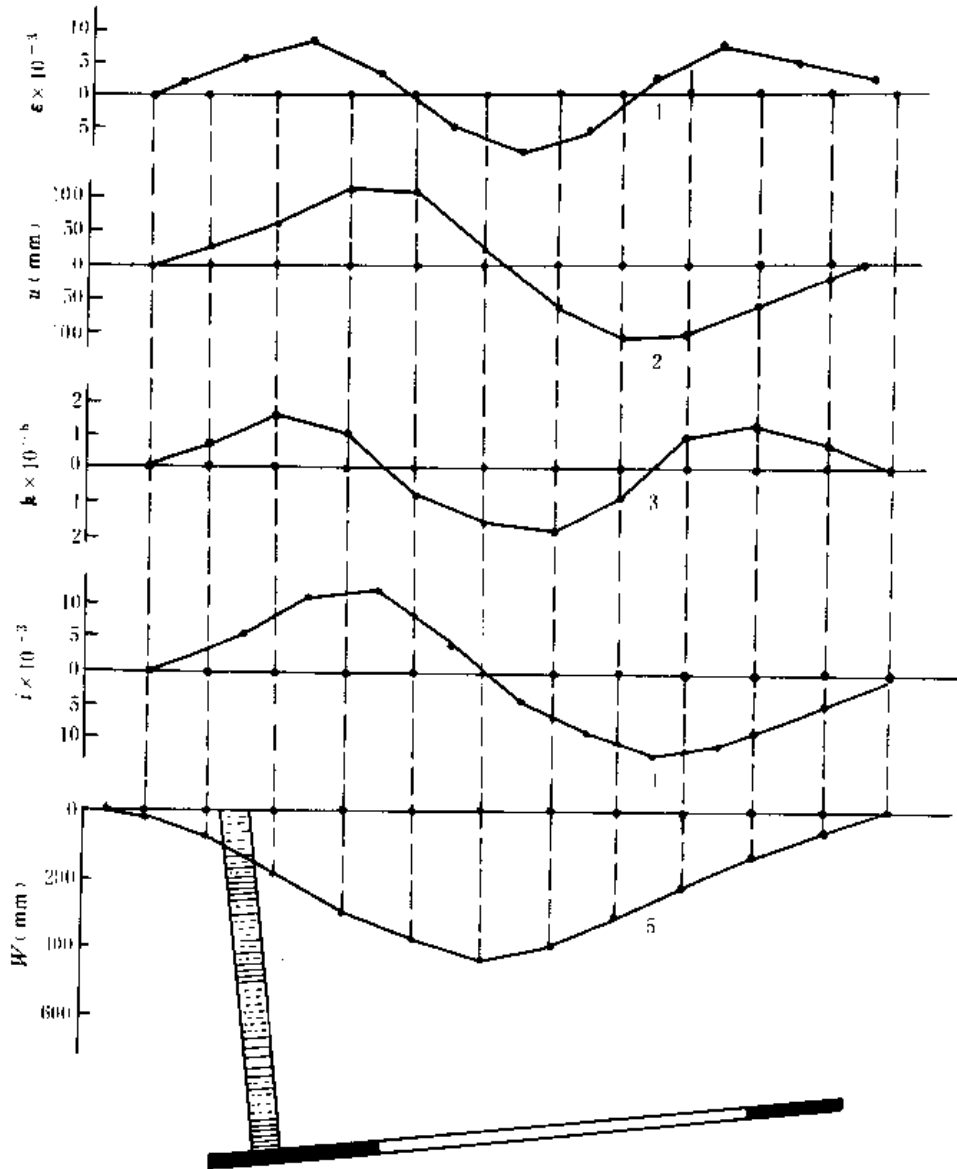


图3 移动和变形曲线

1—水平变形；2—水平移动；3—曲率；4—倾斜；5—下沉

值。

根据需要可选择一些观测点，按每一点相邻两次测得的下沉差与这两次观测的时间间隔之比，为该点在这段时间内的平均下沉速度。

**曲线图绘制** 为了清楚地反映采矿引起的地表移动和变形及其发展过程，按观测线绘制地质断面图，并在该图上根据每次测量结果绘制各种移动和变形曲线图。由于地表移动和变形均是相对于采动前地表而言的，因此绘制移动和变形曲线图时，在断面图上可将地表视为一条水平线。除下沉值依观测点点位在水平线

下绘出外，其余的移动和变形均依其正负号分别在水平线上、下表示，并在上述移动和变形值产生的位置上绘出（图3）。

**展望** 随着空间技术、电子计算机技术、微电子技术的迅速发展以及测绘仪器日趋光、电、机一体化，电子速测仪、微型计算机已较多地应用于地表移动测量及数据处理与分析；全球定位系统测量有可能应用于地表移动测量。这必将改变传统的地表移动测量模式，使地表移动测量和数据处理与分析日趋自动化。

（何 治 周国铨）



dibiao yidong jiben canshu

**地表移动基本参数** (basic parameter of surface movement) 反映地表移动的范围和大小等基本特征的要素。用于煤柱的留设或进行地表移动、变形预计,并为建筑物下、水体下、铁路下的压煤开采以及为开采引起环境损害和治理等提供依据。地表移动基本参数一般依据地表移动测量资料分析求得。基本参数有移动角、边界角、裂缝角、充分采动角、最大下沉角、超前影响角、下沉系数、水平移动系数。

**移动角** 在充分或接近充分采动条件下,移动盆地主断面上,地表最外的临界变形点和采空区边界点连线与水平线在煤壁一侧的夹角。用于留设煤柱和圈定开采对地面的影响范围。移动角又分基岩移动角和冲积层移动角。基岩移动角按岩层倾斜方向的不同可分为走向、下山和上山移动角,分别用符号 $\delta$ 、 $\beta$ 和 $\gamma$ 表示;开采急倾斜煤层时,煤层底板也产生移动,用符号 $\lambda$ 表示底板移动角;冲积层移动角用符号 $\varphi$ 表示,不分方向(图1)。

在确定移动角值时,中国取地表临界变形值的标准为:倾斜 $i=3\text{mm/m}$ ;曲率 $k=0.2\times 10^{-3}/\text{m}$ ;水平变形 $\varepsilon=2\text{mm/m}$ 。

**边界角** 在充分或接近充分采动条件下,移动盆地主断面上的边界点和采空区边界点连线与水平线在煤壁一侧的夹角。与移动角类似,也分为走向、下山、上山和底板边界角,分别用符号 $\delta_0$ 、 $\beta_0$ 、 $\gamma_0$ 和 $\lambda_0$ 表示

(图1)。以下沉10mm的点作为边界点,是区分地表移动区和非移动区的界限。

**裂缝角** 在充分或接近充分采动条件下,移动盆地主断面上,地表最大的一条裂缝和采空区边界点连线与水平线在煤壁一侧的夹角。与移动角类似,也分走向、下山、上山和底板裂缝角,分别用符号 $\delta''$ 、 $\beta''$ 、 $\gamma''$ 和 $\lambda''$ 表示(图1)。

**充分采动角** 在充分采动条件下,移动盆地主断面上,盆地平底边缘点和采空区边界点连线与煤层底板在采空区一侧的夹角。分下山、上山和走向充分采动角,分别用符号 $\psi_1$ 、 $\psi_2$ 和 $\psi_3$ 表示(图2)。

**最大下沉角** 在非充分采动条件下,移动盆地倾向主断面上,采空区中点和地表最大下沉点在基岩面上投影点的连线与水平线在下山方向的夹角,用符号 $\theta$ 表示(图3)。

**超前影响角** 在工作面推进的前方,以地表下沉10mm的点和工作面位置的连线与水平线在煤柱一侧的夹角,用符号 $\omega$ 表示。

**下沉系数** 在近水平煤层充分采动条件下,地表最大下沉值 $W_{\text{cm}}$ 与开采厚度 $m$ 之比,用符号 $q$ 表示。当开采缓倾斜和倾斜煤层充分采动条件下,一般按下式计算:

$$q = \frac{W_{\text{cm}}}{m \cos \alpha}$$

式中 $\alpha$ 为煤层倾角。

按层岩性区分的地表移动参数 (m&lt;30m)

| 层岩性 | 岩性特征                          |      | 移动角 (°)  |         |                    | 边界角 (°)    |           |                       | 冲积层移动角 |     | 充分采动角 (°) |                    |                    | 最大下沉角 $\theta$   | 下沉系数 $q$ | 水平移动系数 $\mu$ |
|-----|-------------------------------|------|----------|---------|--------------------|------------|-----------|-----------------------|--------|-----|-----------|--------------------|--------------------|------------------|----------|--------------|
|     | 主要岩性                          | 岩层厚度 | $\delta$ | $\beta$ | $\gamma$           | $\delta_0$ | $\beta_0$ | $\gamma_0$            | 含沙量    | 含水率 | $\psi_1$  | $\psi_2$           | $\psi_3$           |                  |          |              |
| 硬岩  | 石英砂岩、砂岩、铁质砂岩、细砂岩、粉砂岩、砾岩、石英岩   | 5-10 | 75       | 75      |                    | 60         | 60        |                       |        |     |           |                    |                    | 11.4             | 0.2      |              |
|     |                               |      | 75       | 75      | $\beta=0.25\alpha$ | 75         | 75        | $\delta_0=0.75\alpha$ | 45     | 55  | 55        | $\psi_1=0.5\alpha$ | $\psi_2=0.5\alpha$ | $107-0.75\alpha$ | 1        | 1            |
| 中硬岩 | 砂岩、粉砂岩、细砂岩、中厚层至薄层状、微晶风化的砂岩    | 3-5  | 75       | 75      |                    | 55         | 55        |                       |        |     |           |                    |                    | 6.45             | 0.2      |              |
|     |                               |      | 75       | 75      | $\beta=0.25\alpha$ | 75         | 75        | $\delta_0=0.55\alpha$ | 55     | 65  | 65        | $\psi_1=0.5\alpha$ | $\psi_2=0.5\alpha$ | $107-0.40\alpha$ | 1        | 1            |
| 软岩  | 泥岩、页岩、泥质砂岩、泥质岩、微晶风化的中等至细至中细砂岩 | <3   | 60       | 60      |                    | 50         | 50        |                       |        |     |           |                    |                    | 6.4              | 0.2      |              |
|     |                               |      | 75       | 75      | $\beta=0.4\alpha$  | 75         | 75        | $\delta_0=0.4\alpha$  | 60     | 65  | 65        | $\psi_1=0.5\alpha$ | $\psi_2=0.5\alpha$ | $107-0.35\alpha$ | 1        | 1            |

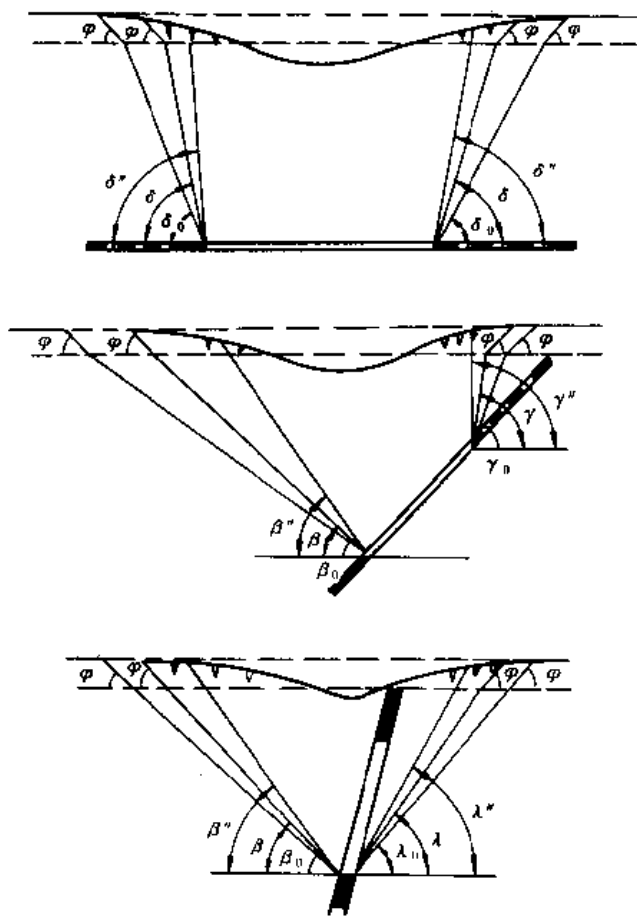


图1 移动角、边界角和裂缝角

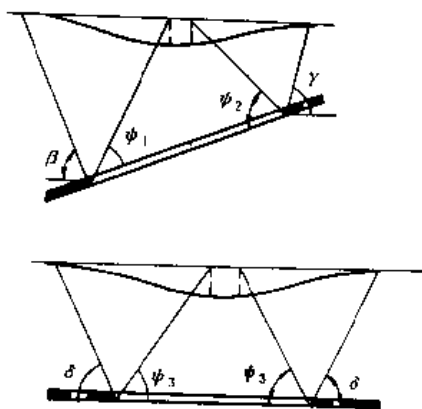


图2 充分采动角

**水平移动系数** 在充分采动条件下, 开采水平煤层的地表最大水平移动值与地表最大下沉值之比, 用符号  $b$  表示。

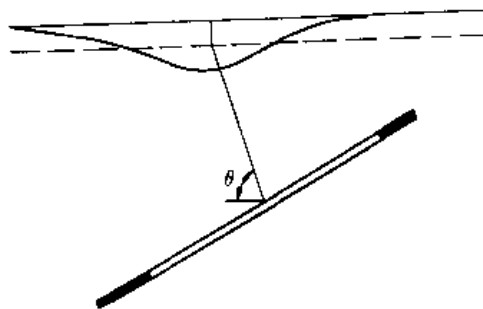


图3 最大下沉角

按覆岩性质综合分析求得的以上各种移动角值和系数的平均值列于上页表, 作为新矿区或没有参数的矿区按类比法选取。

(周国铨 何 滔)

### diji celiang

**地籍测量** (cadastral survey) 为地籍权属调查及土地利用所进行的测量工作, 是土地管理的一项基础工作。其成果经过审核依法登记后具有法律效力。

**简史** 地籍一词来源于拉丁字 *Catastrum*, 意为“人头税的登记”。公元前 2000 年以前, 古埃及人由于尼罗河的泛滥, 需要测量和恢复田界。公元 1805 年, 英格兰和爱尔兰为了征税颁布了土地登记法令, 开始了土地测量工作。近代地籍测量工作则向着多用途地籍管理、自动化地籍系统和土地信息系统方向发展。国际测量师联合会第七委员会就是地籍测量的专业组织, 并于 1978 年在荷兰成立国际地籍和土地记录局, 作为常设机构。

中国从秦汉到唐朝的很长历史时期内, 人口、土地、赋税的记录统统登记在一个簿册内, 以户籍登记为主, 地籍附记在户籍簿内。宋朝实行“方田法”与“经界法”, 对土地进行清丈, 按规定格式记载各户田亩数量、质量和用途, 并绘制“地块图”。宋、明、清等朝代均对土地进行了丈量, 并绘制了地块图册。1950 年, 颁发了“中华人民共和国土地改革法”。1986 年, 颁发了“中华人民共和国土地管理法”, 并成立了国家土地管理局, 实行全国土地统一管理, 进行了大面积的地籍测量工作, 使中国土地管理逐步走向全面科学管理的轨道。

**内容** 依据权属调查确认的土地权属界址和使用现状, 按照有关规程要求测绘地籍图。内容包括地籍平面控制测量; 测定行政区划界线、土地权属界线、界址



点的坐标及其权属范围的面积值;测绘测区内的街道、河流、湖泊以及必要的建筑物和构筑物等。以地籍测量绘制的地籍图、宗地图和编制地籍簿册作为发放土地使用证的依据,同时也是建立地籍档案必不可少的资料。近代地籍测量已由单纯的保护土地所有者的权益和增加税收,发展到多用途的地籍和土地信息系统,成为经济建设规划、合理利用土地资源、进行国土整治、土地管理和区域规划的依据。

**地籍平面控制测量** 平面控制网的布设应遵循“从整体到局部、分级布网”的原则,应尽量利用国家或城市已有的等级控制网。地籍平面控制网的等级依次分为二、三、四等控制网和一、二级小三角网(锁)及一、二级导线。各等级控制网(点)依据测区范围大小和任务要求均可作为首级控制。坐标系统尽量采用国家统一坐标系。当采用国家统一坐标系有困难时,可采用地方(矿区)坐标系或独立坐标系。

为满足地籍细部测量和日常地籍管理的需要,在基本控制点的基础上,一般以两级加密图根控制网作为测图控制。图根控制网多采用导线形式布设,在建筑物稀少、通视良好的测区,可以布设图根三角网(锁)。

**地籍图测绘** 地籍图是土地管理的专用图,也是地籍测量的主要成果。图上准确表示出土地使用者的权属界线,是其最显著特点。测绘方法有全解析法、部分解析法、图解勘丈法三种,根据不同条件选择应用。

**全解析法** 经纬仪和测距仪以图根控制点为基础,对界址点及其他地籍要素采用解析交会法、极坐标法测定的角度和距离计算实测点的坐标值,依据各个坐标值展绘成地籍图。或应用电子速测仪在野外对界址点和其他地籍要素进行角度和距离采集,通过传输设备将观测数据输入计算机进行数据处理,再自动编绘成地籍图。

**部分解析法** 采用解析法测量街坊或地块外围界址点的坐标,对街坊或地块内部其他界址点和有关地籍要素,以街坊或地块外围界址点坐标为基础,用平板仪测绘地籍图或者用钢尺直接丈量相关数据,编绘成地籍图。

**图解勘丈法** 应用条件有两种:①测区小而且当地技术、物质条件不足时,可采用图解交会或截距等方法确定界址点和其他地籍要素的平面位置,并依据宗地草图丈量的数据绘制成地籍图。②测区内已有能反映现状的大比例尺地形图时,应纠正图纸的变形,勘丈界址点的位置,在纠正后的地形图上依勘丈数据展绘界址点,绘制成地籍图。

**绘制宗地图** 宗地图是土地使用证和宗地档案的附图。其内容包括宗地号、地类号、宗地面积;权属者姓名或单位名称、门牌号、宗地所在图幅号;界址点、点号、界址边及边长;相邻宗地号、界址示意线、道路、街巷及名称;宗地内建筑物、构筑物等。根据要求选取适当比例尺绘制。

(刘光宗)

dimian sheying celiang

**地面摄影测量** (terrestrial photogrammetry)

在地面基线两端点上,安置专用摄影机,向待测目标拍摄立体象对并进行测绘的技术,亦称地面立体摄影测量。

19世纪50年代,法国曾用地面摄影测量方法编绘地形图。1901年,德国C. 普尔弗里希(C. Pulfrich)制造了立体坐标仪,地面摄影测量逐渐发展为地面立体摄影测量。奥地利E. 奥雷尔(E. Von. Orel)设计了以立体坐标量测仪与机械交会杆为主要机构的地面立体测图仪,1911年在德国试制成功。该设备的问世,实现了立体摄影象对在光学仪器上建立立体模型,从而取代了利用象片测角交会测绘地形图的方法。

近代地面立体摄影测量多用于高山或丘陵地区的小范围测图,在地质、冶金、采矿、水利、铁路勘测等工程中较为适用。随着摄影测量技术的发展,其应用范围逐步向非地形测量领域拓宽。

立体摄影测量采用不同摄影方式获取立体象对,在外方位元素已知的条件下,按象点与相应地面点的几何关系,确定所测目标的空间位置。

**外业** 主要工作有:确定摄影比例尺、选定摄影基线、摄影、布设与测量象片控制点、象片调绘。

**确定摄影比例尺** 摄影比例尺愈大,精度愈高,但增加了工作量。在满足成图精度的前提下,应尽可能减少工作量。摄影比例尺根据成图比例尺来确定,一般为成图比例尺的 $1/2 \sim 1/4$ 倍。

**选定摄影基线** 根据测区地形条件、成图比例尺、内业成图方法等因素选设基线。采用正直摄影方式时,可依 $Y_{最大}/20 < B < Y_{最小}/4$ 来确定基线长度。式中 $Y_{最大}$ 、 $Y_{最小}$ 分别为最大和最小摄影竖距; $B$ 为摄影基线长,它应与被摄目标大致平行。基线摄影长度可直接丈量或用横基尺视差测距、光电测距等方法测定。有些专用立体摄影机的基线长度为已知定值。摄站选择应考虑:①视野开阔、摄影覆盖面积尽可能大、隐蔽空间尽可能小;②左右摄站彼此通视且高差尽可能小,依拍摄

目标决定高低；③相邻摄站所摄立体象对应应有足够重叠度，便于象片联测。

**摄影** 摄影前应对摄影机及其附件进行检校。摄影方式可分为正直摄影、等偏摄影、交向摄影及等倾斜摄影四种。在地形测量中通常采用正直摄影和等偏摄影。

(1) 正直摄影。如图 1 所示，左右摄影机主光轴保持水平、相互平行且与摄影基线垂直。图 1 中  $S_1$ 、 $S_2$  分别为摄影站； $B$  为摄影基线； $x_1$ 、 $z_1$  分别为地面点  $M$  在左象片上象点  $m_1$  的横坐标与纵坐标； $P$  为左右视差 ( $P = x_2 - x_1$ )； $f$  为摄影机主距； $Y$  为摄影竖距。象点的相应地面坐标可依下式求得其在辅助坐标系中的空间坐标，然后再改化为地面坐标。

$$Y_M = \frac{B}{P} f$$

$$X_M = \frac{B}{P} x_1 = \frac{Y_M}{f} x_1$$

$$Z_M = \frac{B}{P} z_1 = \frac{Y_M}{f} z_1$$

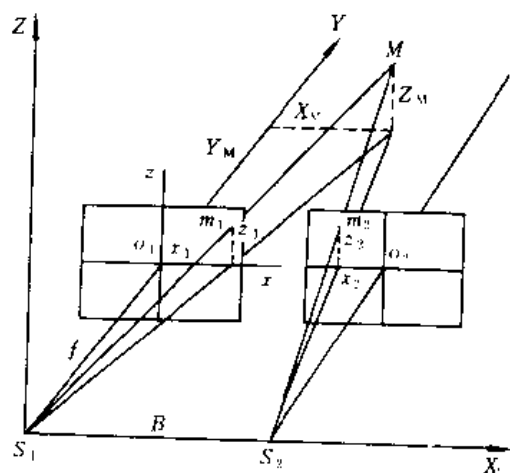


图 1 正直摄影原理

(2) 等偏摄影。左右摄影机主光轴保持水平，并与摄影基线的垂直方向偏离一个相等的角度  $\varphi$ 。等偏角  $\varphi$  值一般在  $30^\circ$  左右，最大不宜超过  $40^\circ$ 。地面点  $M$  在辅助坐标系中的坐标可依下式解算。

$$Y_M = \frac{B}{P} \left( \cos \varphi - \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right) f$$

$$X_M = \frac{B}{P} \left( \cos \varphi - \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right) x_1$$

$$Z_M = \frac{B}{P} \left( \cos \varphi - \frac{x_2}{f} \sin \varphi \right) z_1$$

式中  $x_2$  为象点  $m_2$  的横坐标。

(3) 交向摄影。在摄影主光轴保持水平，左右摄影机主光轴在水平面内的投影相交一角度。目前交向摄影多用于小范围逐点计算。

(4) 等倾斜摄影。两摄影光轴与基线水平面均倾斜一个相等的角度，即相当于正直和等偏摄影的两主光轴再上仰或下倾同一角度，这种摄影方式是为了扩大在竖直面上的覆盖与增大重测范围。

**布设与测量象片控制点** 是为了检查与改正模型变形，进行大地定向。为正确改正外方位元素的误差，保证成图精度，在每一立体象对范围内布设 4 个象片控制点，如图 2 所示。当摄影距离很近、立体象对覆盖范围不大时，也可布设 3 个点。

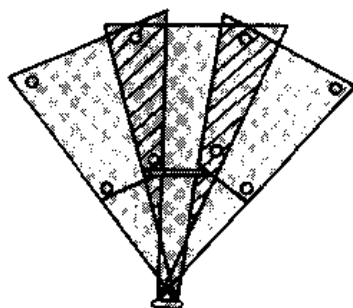


图 2 象片控制点的布设

象片控制点的平面位置可采用锁(网)交会或导线等方法测定；高程则可采用测图水准、三角高程、独立交会等方法测定。

**象片调绘** 调绘的内容与航测相同(见航空摄影测量)。由于地物元素的平面位置在地面摄影象片上不能准确地以图式符号表示，故应以说明注记配合符号表示，必要时应在调绘片背面绘略图提示。

**内业成图** 近代地面摄影测量的室内成图方法主要采用光学机械模拟法与解析法。

**光学机械模拟法** 在地面自动立体测图仪、工程测图仪或某些精密立体测图仪上，对外业拍摄的立体象对进行连续解算与绘图。该法作业速度快，精度可靠，被广泛采用。

**解析法** 采用已知象片控制点求出该象对的外方位元素改正值，对已知的外方位元素进行改正。为提高精度还需加入相应的仪器主距、象点坐标观测值  $x_1$ 、 $z_1$  和左右视差等改正，然后根据与所用摄影方式相应的数学公式，计算地面点的三维坐标。该法适应性强、精度高，是目前常用的方法。

(沈乃庄)

dixingshimian

**地形式面** (topographic surface) 满足有限性、单值性、连续性和光滑性条件,类似地形面的曲面。人眼能看见的地形式面,如地表面称作显露地形式面;人眼不能看见的地形式面,如地下矿体的顶(底)板面称作隐蔽地形式面。隐蔽地形式面又可区分为实有的地形式面如地下矿体的顶(底)板面,与假想的地形式面如矿体中某种成分含量空间分布的趋势面。在研究矿体形态与变化问题时,理论上地形式面可用函数  $z = f(x, y)$  描述。式中  $z$  为地形式面上点的指标值; $x$ 、 $y$  为该点的坐标值。

**地形式面特性** 为有限性、单值性、连续性、光滑性。有限性就是地形式面上每点的指标值是有限的,不可能有无限大的指标值存在;单值性就是地形式面上每点的指标值只有一个,不可能有两个或更多的指标值存在;连续性就是地形式面上的点在任何方向上作无穷小移动时,点的指标值亦随之有无穷小的变化;光滑性就是地形式面上的点在任何方向上作无穷小移动时,点的指标值产生均匀的变化,而非急剧跳跃。这些性质是在用概率论和数理统计方法整理矿产指标观测值时,在一定空间范围内研究矿产指标值变化的前提下实现的。然而,由于矿体形状和矿产特性空间分布的复杂性,欲用简单或低次曲面的某种具体数学函数来描述,是十分困难的。在实际制图中,地形式面是用互不相交的等值线表示的。图1为某矿体一部分的金属含量等值线图。

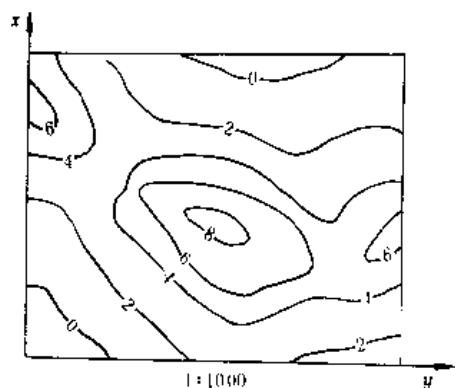


图1 金属含量等值线图

**地形式面的数学演算** 依据解决实际生产问题的需要,地形式面之间可进行数学演算(加、减、乘、除、乘方、开方、微分或积分等)。地形式面数学演算可用图解法实现。地形式面数学演算只有在相同投影面和相同比例尺描绘的地形式面间进行。在图2中,设有两

地形式面的等值线图,其函数式为  $P = f(x, y)$  (细实线所示)和  $Q = \varphi(x, y)$  (虚线所示)。若使此两地形式面相加,和数函数式为:

$$S = P + Q = f(x, y) + \varphi(x, y) = F(x, y)$$

图解法相加,先使两图按同名坐标格网重合,两加面上同一坐标值( $x, y$ )的函数值(指标值)相加,即为和面上对应同一坐标值( $x, y$ )的函数值(指标值)。类此而求得许多对应的和数值,据此勾绘等值线,即得和面等值线图。图2为  $P, Q$  面等值线相交的情形。对于两

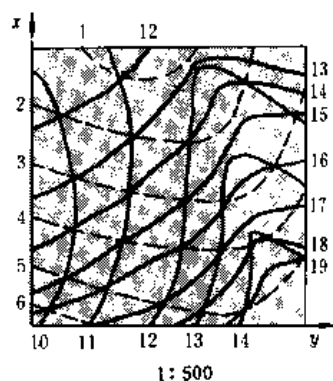


图2 地形式面的加法

加数面等值线不相交或有复杂形状的情形,则可采用剖面法或格网角点法确定和数面的指标值,然后进行内插求值,亦可求得和数面等值线图。

(何新义)

dianzi suceyi

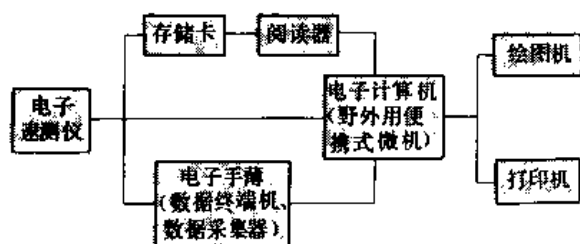
**电子速测仪** (electronic tachometer) 又称全站型电子速测仪,由电子经纬仪、光电测距仪和微处理机组合一体的测量仪器(参见彩图插页第54页)。它的特点是水平角、垂直角和距离都实现了电子测量,并用微处理机来控制、检核测量过程和处理观测结果,可直接确定距离、坐标、高差等。

电子速测仪的测距和测角原理分别与光电测距仪和电子经纬仪(见经纬仪)相同。

电子速测仪的基本功能是:①控制和检核整个测量过程;②自动处理精读数 and 粗读数,确定最终值;③根据竖轴倾斜自动测量装置的测量结果,改正水平角和垂直角;④对观测距离进行各种改正;⑤计算所需结果,如水平距离、高差和坐标等;⑥显示器显示测量结果。

为增加功能,扩大数据存储量,一些厂家补充了附加设备,如存储卡、电子手簿(数据终端机或数据采集

器)或便携式微机,用于测站记录观测数据,判断测量限差,计算所需结果(交会、导线和放样点的坐标和高程等)以及各种测量信息的储存。由于各种类型电子速测仪的测量过程自动化程度、数据处理的内容和能力以及传输方式的不同,电子速测仪的附加设备随仪器类型而异(见图)。



电子速测仪和附加设备

电子速测仪的出现,改变了传统的测绘工作程序,促进了测量数据采集、处理、储存和绘图自动化进程。

目前,各国生产的电子速测仪达几十种,并按测角精度的不同,形成系列,已广泛用于工程测量、矿山测量、地籍测量和地形测量工作中,成为测绘工作的一种主要工具。

(张鸣权)

## dongjie zaojingfa shigong celiang

### 冻结凿井法施工测量 (construction survey for shaft sinking by freezing)

在立井周围打一定数量的冻结钻孔,用人工制冷法将井筒周围松散地层冻结成封闭的圆筒(冻结壁),在冻结壁保护下进行凿井施工过程中的测量工作。目的是保证冻结壁能够达到设计要求的可靠的冻结。内容有环轨铺设及钻机安装检查、冻结孔标定、冻结孔测斜和冻结段凿井施工测量。

**环轨铺设及钻机安装检查** 在井筒中心周围修筑灰土盘,按照冻结圆筒设计半径标定环形轨道中心线;铺设枕木和轨道时的抄平测量;安装钻机时,测量钻机底座角点间的高差以检查钻机的垂直程度。

**冻结孔标定** 依据井筒中心和井筒十字中线及钻孔设计间距等数据,用极坐标法标定。通常将第一孔标定在十字中线上,孔位用木桩固定。测温孔、水文孔、检查孔由设计中取得标定数据用线交会法标定。(见建井测量)

**冻结孔测斜** 冻结孔的偏斜方位、偏斜值和偏斜率直接影响冻结壁质量和冻结效果,故从开孔钻进至

下完冻结管应分别进行开孔、钻进、终孔和冻结管测斜工作,以便随时掌握孔斜情况,为及时纠偏或补钻提供资料。测斜方法有经纬仪灯光测斜和陀螺测斜仪测斜。

**经纬仪灯光测斜** 如图1所示,将一个光标志放入冻结孔测斜管内,作观测目标。在孔口装一个坐标盘,使孔口中心O点与井筒中心的连线为x轴。孔口上方安置经纬仪,用光学对中器求得其垂直投影点B在坐标盘上的坐标 $x_B$ 、 $y_B$ ;调整经纬仪脚螺旋,用对中器瞄准孔内灯光标志,求得斜线在坐标盘上投影点C的坐标 $x_C$ 、 $y_C$ 。根据相似三角形原理,解算得冻结孔轴线在测深水平上的偏斜要素:

$$\text{偏斜值} \quad e = OE = \sqrt{x_E^2 + y_E^2}$$

$$\text{偏斜方位} \quad \alpha = \arctg \frac{y_E}{x_E}$$

$$\text{偏斜率} \quad i = \frac{e}{H} \times 1000\%$$

式中  $x_E = x_C + \frac{H}{h}(x_C - x_B)$ ;  $y_E = y_C + \frac{H}{h}(y_C - y_B)$ ;  $h = AB$ ;  $H = BD$ 。绘制偏斜平面图时,在图纸上绘出以冻结孔中心为原点,孔中心与井筒中心连线为x轴的冻结口坐标系,根据各深度水平测点坐标值展点,用细实线依次连接各点即成单孔偏斜平面图。

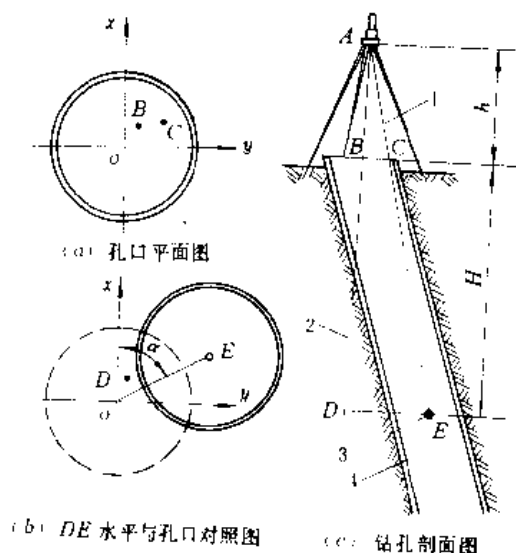


图1 经纬仪灯光测斜示意图

1—照斜视线; 2—垂直视线; 3—测灯标志点;  
4—测斜管

**陀螺测斜仪测斜** 适应不同深度、不同倾角的冻结孔测斜,是一种具有较高精度的测斜方法。测量开始时,将下井仪器立于孔口并向井中方向倾斜 $5^\circ$ 左右,启动陀螺马达,测定下井仪器下放前的原始方位角,即在



测量面板上读取顶角在坐标轴上的分量  $x_0'$ 、 $y_0'$  值；然后将仪器扶直，放入孔内，每隔 10m 测一点，读取各测点的  $x$ 、 $y$  值；仪器上提时，复测一次。根据所测资料计算原始方位下测前与上测后的平均值  $x_0$ 、 $y_0$ ；求各测点上、下测的平均值、累计值，根据所测资料绘制冻结孔偏斜平面图。绘图时，需将冻结孔轴线在仪器坐标系中的方位归化到冻结孔坐标系。仪器坐标系由两个互相垂直的摆锤轴  $x$ 、 $y$  组成，靠陀螺仪定位。冻结孔坐标系是以孔中心为原点，孔中心与井筒中心连线为  $x$  轴。绘单孔偏斜图时，在坐标纸上画出孔口位置  $O$  (图 2)，根据平均值  $x_0$ 、 $y_0$  展绘  $A$  点，连  $OA$ ，即得冻结孔坐标系的  $x$  轴正方向；以 1mm 长代表顶角  $1'$ ，将各测点按累计的  $x$ 、 $y$  值展绘出矢量点  $B$ 、 $C$ 、 $D$ ……，顺次连接  $O$ 、 $B$ 、 $C$ ……各点即成冻结孔偏斜平面图，由图上求冻结孔偏斜要素。

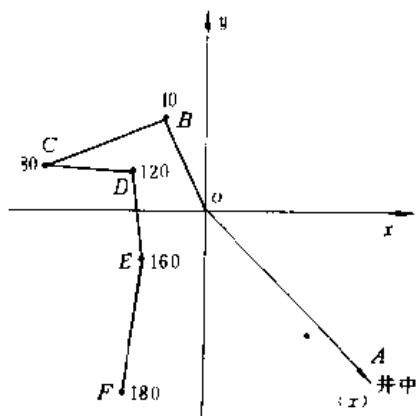


图 2 冻结孔偏斜图

冻结孔偏斜总平面图绘制 全部冻结孔测斜工作结束后，将测斜成果汇总，绘制冻结孔偏斜总平面图，

以反映全部钻孔的偏斜情况及其位置关系。方法是在图纸上绘出井筒平面图，标出井筒中心、井筒净径、冻

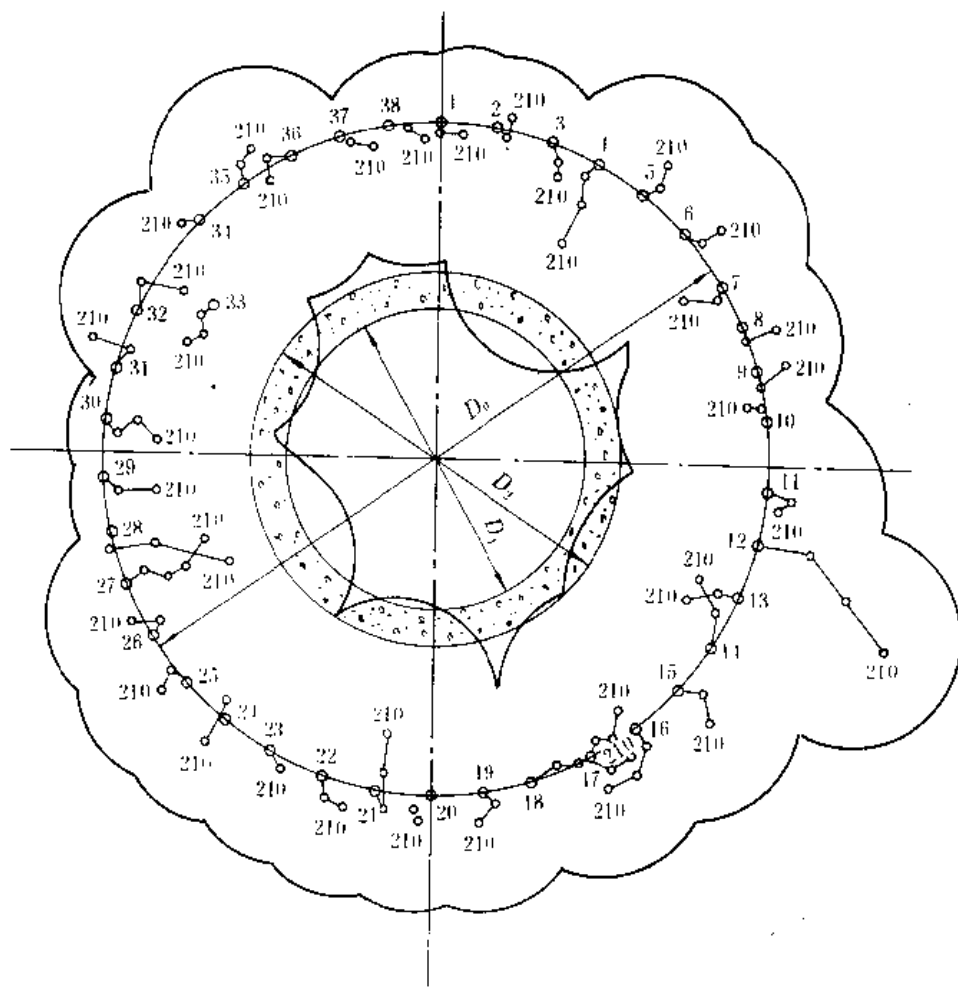


图 3 冻结孔偏斜分层平面图及预测交圈图

结孔及十字中线,按顺序标出钻孔位置及编号;以各孔口中心为坐标原点,井筒中心为定向点,按各测深水平上的偏斜方位和偏斜值展绘测点位置,注记深度;再用细实线将孔口点与各测点依次相连,逐孔绘制,即成冻结孔偏斜平面图(图3)。

**冻结壁预测交圈图的绘制** 在施工过程中,为反映某一深度水平上冻结孔的实际位置,进而预测冻结壁的交圈情况及其厚度,须绘制冻结孔分层(水平)平面图和冻结壁预测交圈图。在分层图上绘制冻结壁预测边界线,内外边界的中间部分就是冻结壁。绘法是自冻结孔的实际位置沿与井筒中心连线方向内移 $\Delta = R/10$ ,以此点为圆心,用冻结圆柱扩展半径 $R$ 画圆,即得该孔冻结圆柱在分层图上的投影。逐孔绘出后,将圆柱相交部分擦去,加粗内外轮廓线,即得该分层(图3为210m水平)冻结壁预测交圈图。

**冻结孔纠偏测量** 当测斜成果表明钻孔偏斜率大于3‰时,必须停钻纠偏。纠偏测量包括:测定冻结孔的偏斜值、偏斜方位和涡轮钻具的偏斜方向。按冻结孔设计要求,根据实测冻结孔的偏斜值和偏斜方位,确定纠偏钻进方位。

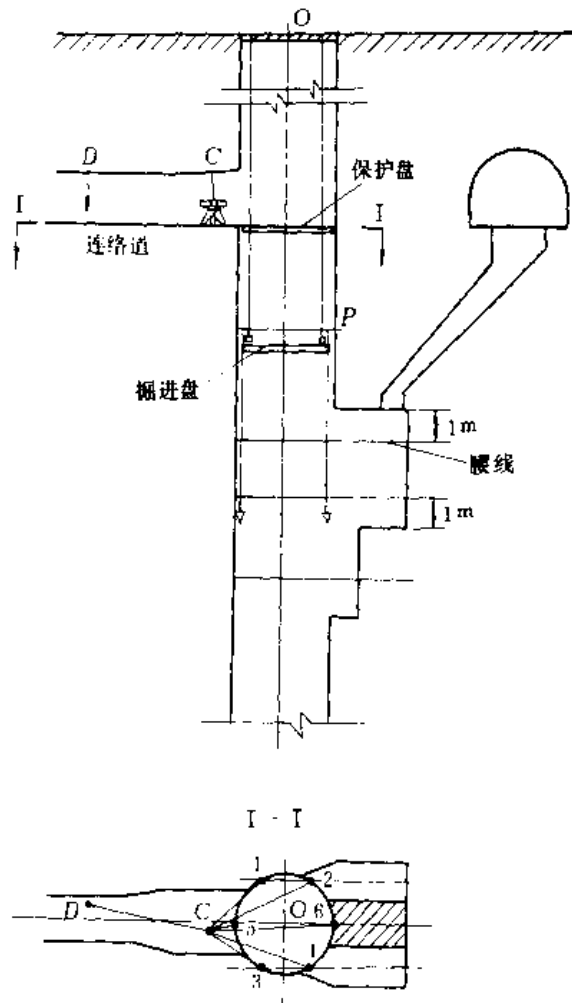
**冻结段井筒施工测量** 主要内容见立井井筒施工测量。此外在掘凿过程中要对井壁裂缝、井帮塌方、冻结管断裂位置及深度进行测定;对临时井架沉降和倾斜进行观测。

(刘 林)

dongshi shigong celiang

**硐室施工测量** (chamber construction survey) 根据井下硐室设计图和有关资料,将硐室标定在实地的测量工作。井下硐室有与巷道连接的硐室和与立井井筒连通的硐室。前者施工测量方法和巷道施工测量方法相同(见巷道中腰线标定);后者主要指装载硐室。装载硐室是箕斗提升井筒的井下装煤站,与井筒、煤仓相连接。硐室施工测量的任务是确定装载硐室的平面位置和高程位置。

**装载硐室平面位置标定** 包括中线和两侧导硐中线的标定。在装载硐室与井筒分别施工时,首先在施工平面图上,根据井筒中心的坐标、井筒十字中线方位角计算硐室中线点5、6和导硐中线点1、2和3、4的坐标(见图)。实地标定时,将保护盘固定在联络巷底板水平,由定向基点C、D用极坐标法(见建井测量)在保护盘上标定硐室中线点和导硐中线点。硐室施工时,



装载硐室施工标定

由中线点挂垂球线指示掘进方向。

在装载硐室与井筒同时施工时,依据地面井筒十字中线基点在井盖上标定四个井筒十字线点,并下放垂线至装载硐室上方掘进吊盘上,依此在井壁上标定硐室中线点和导硐中线点。硐室施工时,下放垂线指示掘进方向。

**装载硐室高程位置的标定** 采用导入高程方法(见导入高程测量)在掘进吊盘上方井壁上标定高程控制点P,再由P点向下标定装载硐室的高程位置和掘进的腰线(见图)。标定时,由P点用钢尺确定腰线起点,在工作盘上用水准仪标定腰线。

(田保俊)

## F

fangweijiao

**方位角** (azimuth) 由特定起始方向按顺时针方向至某一方向线的水平夹角, 角值  $0^\circ \sim 360^\circ$ 。方位角表示直线在平面内的方向, 是测量的一个元素。大地天文学中, 方位角有不同含义, 称地平经度。

特定起始方向可以是真子午线方向、陀螺子午线(陀螺北)方向、磁子午线(地磁北)方向或高斯投影带中央子午线(平面直角坐标系统的纵轴  $x$ ) 方向, 相应的方位角分别称为真方位角、陀螺方位角、磁方位角或坐标方位角(常简称方位角)。

几种起始方向一般不重合。平面直角坐标系统的

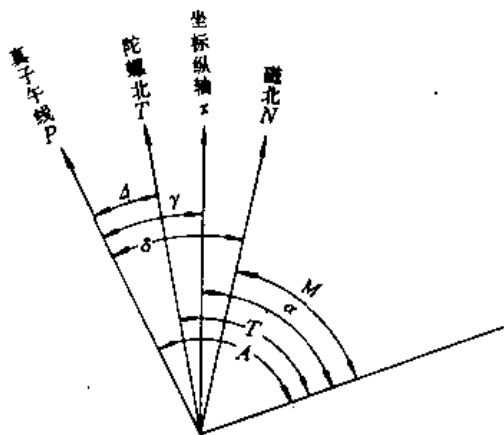


图1 各起始方向的关系

$x$  轴与真子午线方向的夹角称子午线收敛角, 以  $\gamma$  表示。陀螺北方向与真子午线方向间的夹角称陀螺仪常数, 以  $\Delta$  表示。磁北方向与真子午线方向的夹角称磁偏角, 以  $\delta$  表示。 $x$  轴、陀螺北及磁北方向在真子午线方向以东称东偏, 相应的  $\gamma$ 、 $\Delta$ 、 $\delta$  值取正号; 西偏取

负号。设  $A$  为真方位角,  $T$  为陀螺方位角,  $M$  为磁方位角,  $\alpha$  为坐标方位角, 它们的关系为(图1):  $A = M + \delta$ ,  $A = T + \Delta$ ,  $A = \alpha + \gamma$ ,  $\alpha = M - \delta - \gamma$ 。

起始方向与方向线所夹锐角称象限角, 以  $R$  表示, 角值  $0^\circ \sim 90^\circ$ , 以偏向表示其方位(图2)。有的罗盘仪可直接测象限角。象限角与坐标方位角的关系如下表:

象限角与坐标方位角换算关系

| 坐标方位角                      | 象限角                         | 象限  | 象限角与坐标方位角关系        |
|----------------------------|-----------------------------|-----|--------------------|
| $0^\circ \sim 90^\circ$    | $0^\circ \sim 90^\circ$ 北偏东 | I   | $R = \alpha$       |
| $90^\circ \sim 180^\circ$  | $0^\circ \sim 90^\circ$ 南偏东 | II  | $R = 180 - \alpha$ |
| $180^\circ \sim 270^\circ$ | $0^\circ \sim 90^\circ$ 南偏西 | III | $R = \alpha - 180$ |
| $270^\circ \sim 360^\circ$ | $0^\circ \sim 90^\circ$ 北偏西 | IV  | $R = 360 - \alpha$ |

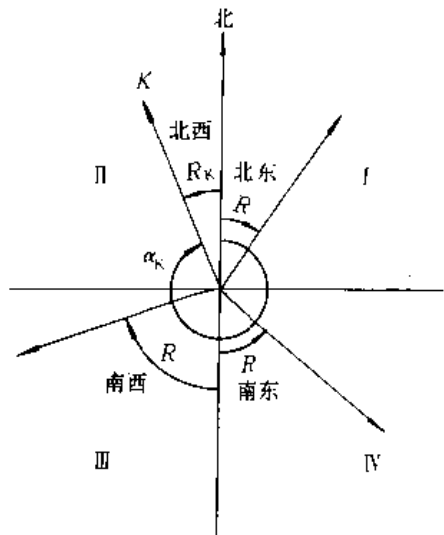


图2 象限角

(胡昌炽)

## G

gangjuanchi

**钢卷尺** (steel tape) 测量中最常用的量距工具, 简称钢尺。一般为带状, 长度有 20m, 30m 或 50m 等数种。钢尺上刻有 m、dm、cm 和 mm 分划, 有的钢尺仅在零端 1dm 内有 mm 分划。钢卷尺卷在尺盒内; 矿用钢尺宜卷在尺架上, 以便擦洗和上油。井下经纬仪导线的边长通常用钢卷尺直接丈量。

钢尺尺面注记的长度为名义长度, 往往与实际长度存在差异。钢尺长度的检定, 又称钢尺比长, 是测定钢尺名义长度和实际长度的差值。目前主要是根据专门设置的比长器(台)或用精密检定尺对钢尺进行长度检定。

**比长场地的建立** 比长场地可在室内或室外建立。比长标志点可设在墙上, 也可设在地上。场地上一一般设置间距为 50m 的两个标志点, 可检定 50m 钢尺。在距一端 30m 处, 另设一中间标志点, 可检定 30m 和 20m 钢尺。标志点结构以坚固、稳定和使用方便为原则, 可高出地面, 也可底于地面。埋点时, 用仪器使各点的标志中心处在同一直线和高度上。标志点埋设稳固后, 便可用高精度量距工具(因瓦基线尺)丈量, 标志点间距的相对中误差不低于 1:20 万。

**在比长场地上进行钢尺检定** 选择在无风或微风, 气温近于作业温度的阴天进行。检定前将钢尺展开, 悬挂在比长场地附近, 使钢尺温度接近周围温度。然后将钢尺移至比长场地上, 两端挂重锤, 施以标准拉力, 往返丈量不少于两次, 每一往测或返测读数三次, 每次应移动钢尺尺面, 且读记温度。检定时, 先在托平状态下丈量, 再在悬空状态下丈量。 $\Delta L'$ 、 $\Delta L$  分别为钢尺在悬空状态下的尺长改正数与托平状态下的尺长改正数, 同时取得钢尺整尺的垂曲改正:

$$\Delta L_t = \Delta L' - \Delta L$$

**用线纹米尺检定钢尺长度** 在室内进行。检定前两小时, 应将一级线纹米尺和钢尺取出放在检定室内。检定时, 将钢尺展平在大于 1m 长的平台上, 并施以标准拉力。然后用一级线纹米尺贴紧钢尺, 逐米检定钢尺

长度, 并读记温度, 以求得钢尺每米间隔和全长的尺长改正数。

(王明忠)

gaocheng celiang

**高程测量** (height survey) 测定地面点高程的工作。地面点沿垂线方向到高程基准面的距离, 称为高程。采用大地水准面作高程基准面的高程称绝对高程, 简称高程, 或称海拔。为局部用途选择任意水准面作高程基准面的高程称相对高程, 或称假定高程。

测定高程的方法有水准测量、三角高程测量和气压高程测量等。水准测量是高程测量的主要方法, 用于建立各种等级和用途的高程控制以及线路水准和面水准的测量工作。

**水准测量** 用水准仪确定高差(图1)。根据已知点 A 的高程  $H_A$  确定未知点 B 的高程  $H_B$  时, 只要测

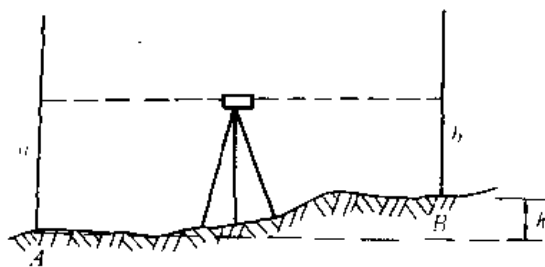


图1 水准测量

定两点间的高差  $h$  即可算得,  $H_B = H_A + h$ 。测高差  $h$  时, 在 A 和 B 两点之间安置水准仪, 并在点 A 和点 B 上竖立水准尺。水准仪望远镜从已知高程点的水准尺上读数  $a$ , 称后视读数; 然后将望远镜照准未知高程点 B 的水准尺, 读得读数  $b$ , 称前视读数, 则高差  $h = a - b$ 。 $h$  为正时, 点 B 比点 A 高。如水准点之间的距离较远, 需设立中间转点, 逐站测高差, 以高差总和确定高程。

每次读数都要精确整平水准管气泡,使望远镜视准轴严格保持水平,这是水准测量的技术关键。普通水准仪手动整平水准管,新型水准仪则有补偿器自动整平,现代电子水准仪可从水准尺上自动读数。望远镜配上光学测微器,可提高在水准尺上读数的精度。

水准测量的精度取决于水准仪的精度、水准尺的刻划精度及材质、测量方法与测量环境(立尺点稳固性,大气折光影响等)。按精度要求,对最大视距有不同规定,并要求前、后视距尽量相等,以消除或减弱望远镜视准轴与水准管轴不平行造成的误差影响。

跨越江河或峡谷等障碍物的水准测量要按专门的测量程序进行。永久性水准点要埋标石。

**三角高程测量** 测量两测点之间视准线的垂直角 $\delta$ 和倾斜距离 $S$ ,并丈量仪器高 $i$ 和觇标高 $v$ (图2),通过计算求得两测点间的高差,用于高差较大的地区。可按下式计算两点间高差:

$$h = S \sin \delta + i - v$$

如果已测得两测点间的水平距离 $D$ ,则

$$h = D \tan \delta + i - v$$

两点距离较远时,应考虑地球曲率和大气折光的影响,加以改正。在两测点间采用对向观测,可减小大气折光的影响。

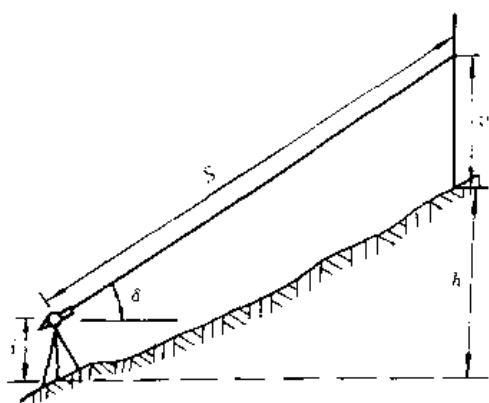


图2 三角高程测量

**气压高程测量** 根据大气压力随高度变化的规律,用空盒气压计或水银气压计直接测高程。因气压受气象变化的影响较大,用于低精度高程测量。

(胡昌斌)

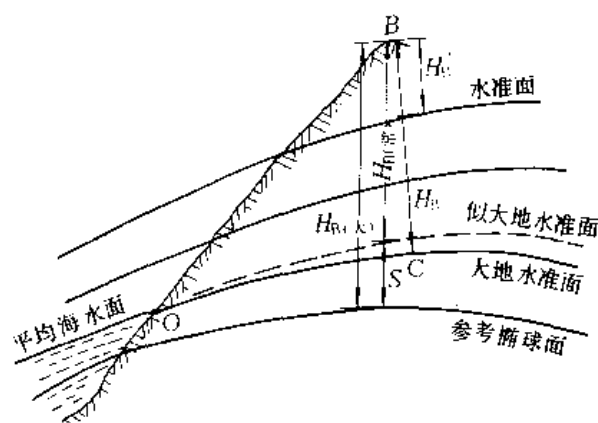
gaocheng xitong

**高程系统** (height system) 以选择的基准面表示地面点高程所形成的系统。按基准面不同,有正

高、正常高和大地高程等系统。

地面点到高程基准面间的垂直距离统称高程。高程基准面基本上有两种,一是大地水准面;二是参考椭球面。还有一种假设的大地水准面,称似大地水准面。

**正高系统** 以大地水准面作为基准面的高程系统。地面点 $B$ (见图)沿垂线方向到大地水准面的距离



高程系统图

称为该点的正高。处于静止状态的水面称水准面,它是一个重力等位面,该面处处与重力方向(即铅垂线方向)垂直。在地球表面及其内部重力作用范围内,不同高度的点都有一个相应的水准面通过。大地水准面是假想海水处于完全静止状态、并向陆地底部延伸所形成的连续的曲面。经过长期验潮测量,可求得大地水准面的位置,把它作为一个国家或地区的高程基准面,即统一的高程起算面。

由于受地球岩层密度分布不均的影响,水准面(即等重力位面)不相平行。从水准零点 $O$ (见图)出发,用水准测量沿不同路线测得的点 $B$ 的正高 $H_B$ 并不一致。设沿水准路线测得的各段高差为 $dh$ ,同时测得相应各处重力值 $g$ ,可求得点 $B$ 的高程:

$$H_B = \frac{1}{g_m} \int_{OB} g dh$$

式中 $g_m$ 为点 $B$ 沿垂线至大地水准面的平均重力值。由于 $g_m$ 既不能实测,又不能精确算出,因此正高是近似值。

**正常高系统** 用地面点平均正常重力值 $\gamma_m$ 代替上式中的 $g_m$ ,可算得点 $B$ 的高程,即:

$$H_{B(\text{正})} = \frac{1}{\gamma_m} \int_{OB} g dh$$

式中 $\gamma_m$ 随纬度不同而变化,可精确计算; $g$ 为水准路线上相应于 $dh$ 处的实测得的重力值,因此正常高可精确求得。

由各地面点沿正常重力线向下量取各点的正常

高,所得到的点连成的曲面称为似大地水准面,是正常高系统的水准面。它没有明确的物理意义,但很接近大地水准面。由于正常高可严格求得,数值与正高十分接近,也不随水准路线而异,所以中国采用正常高系统。

不少国家(地区)都对本国(地区)的海水面进行验潮测量,求得平均海水面位置,把该平均海水面视为大地水准面,用作本国(地区)高程起算面。由此确定的高程亦称绝对高程。由某个假设水准面起算的高程称为相对高程。中国于1987年根据青岛验潮站1952年至1979年对黄海潮汐观测资料算得的黄海平均海水面作为基准面,以此联测的全国高程起算点——青岛原点的高程为72.289m,称为1985国家高程基准。1985年之前,曾用青岛验潮站1950年至1956年潮汐观测资料算得的黄海平均海水面为基准面,称为1956年黄海高程系。

在平均海面上,似大地水准面与大地水准面重合,所以大地水准面的高程原点也是似大地水准面的高程原点。

国家在进行精密水准测量建立国家水准网时,须进行重力测量,按正常高系统计算各点的高程。依据国家水准点进行的矿区水准测量,只在二、三等水准测量中加入正常水准面不平行的改正(见水准测量),求得正常高。对四等及以下的水准测量,因路线较短,精度要求较低,不必进行改正。

**大地高系统** 以参考椭球面为基准面的高程系统。大地高是由地面点沿法线到椭球面的距离,如图中 $H_{B(x)}$ 。利用物理大地测量方法可以测定似大地水准面与椭球面之间的距离 $\xi$ ,因而可以利用一点的正常高求得该点的大地高。

(桑光灿)

**gongye changdi jianzhuwu shigong celiang**  
**工业场地建筑物施工测量** (mine yard building construction survey) 把设计图上所确定的建筑物的位置和形状标定到实地的测量工作,包括建立施工控制网、工业场地平整测量、建筑物施工标定、竣工测量和施工变形观测。

**施工控制网** 为了进行建筑物施工标定所布设的测量控制网,分为施工平面控制网和施工高程控制网。

**施工平面控制网** 常用建筑基线和建筑方格网,也采用三角网、三边网和导线网。

(1)建筑基线是由一条或几条基线构成。基线布设于建筑物附近且平行于主要建筑物的主轴线。根据建筑物的分布情况,基线布设成“—”、“L”、“+”、

“#”等基本形式,用基点桩固定于实地。基点桩依据基点设计坐标和附近测量控制点,采用极坐标法或其他标定点位的方法(见建井测量)测设。一般矿井工业场地的井筒十字中线就是建筑基线。

(2)建筑方格网是由正方形或矩形格网构成的施工平面控制网。方格网点以固定桩作标志。方格的大小视建筑规模而定,一般边长为100~200m。工业场地范围较大时,应先测设方格网主轴线,再根据主轴线标定方格网点。

方格网主轴线应布设在场地中央,与总平面图上的主要建筑物的轴线平行。主轴线测设时(图1),首先由控制点 $M$ ,根据角 $\beta$ 和距离 $l$ 用极坐标法标定主轴线交点 $O$ 。然后在 $O$ 点安置经纬仪标定主轴线的端点 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 。根据主轴线端点交会出角点1、2、3、4。然后标定全部方格网点并埋设固定桩,作为施工控制点。

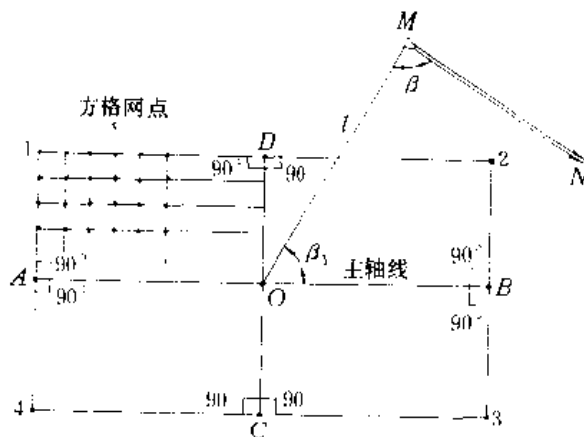


图1 方格网的测设

**施工高程控制网** 为建筑施工需要,用水准测量建立一定密度的高程控制点,通常平面控制网点兼作高程点。

**工业场地平整测量** 工业场地按竖向规划设计进行地面平整时的测量工作,常用方格网法和断面法。

**方格网法** 在场地平整范围内布设方格网,边长与施工方式有关,一般为20~100m。方格网点埋设木桩,桩顶与地表齐平。测量桩顶高程,并根据场地设计高程求出各桩处填方或挖方高度,作为计算填(挖)土方量和场地平整的依据。常用水准仪和激光平面仪施测。用水准仪测量时,根据水准基点测出各桩顶实际高程,各桩设计高程与实际高程之差为桩点处填(挖)高度。用激光平面仪测量时,以仪器发射的可见激光平面为基准,测出各桩高程。施测时,仪器立于场地中央,

根据水准基点测定激光平面的高程。持尺者可按激光平面在各桩水准尺上标的的数据,计算各桩高程和填(挖)高度。也可用激光平面高程与场地设计高程的差值,在水准尺上做出标记,当激光平面和尺上标记重合,尺底面便是场地设计位置。

计算土方量时,先绘制方格网图,在各桩点写出填(挖)方高度。然后逐格计算填(挖)土方量,并计算总土方量。

方格网法适用于地表起伏较小,坡度均匀的场地。

断面法 适用于起伏较大,窄长的带状场地。(见矿区铁路施工测量)

建筑物施工标定 以施工控制网为依据,在实地标定设计的建筑物平面和高程位置的测量工作,包括建筑物定位测量和建筑物标定。

建筑物定位测量

(1) 普通民用建筑物的定位是测设建筑物外墙轴线交点(称角桩或中心桩) $M$ 、 $N$ 和 $P$ 、 $Q$ (图2)。它是根据建筑基线、建筑方格网及已有建筑物与主轴线的关系,用极坐标法或其他标定点位的方法测设。

(2) 大型建筑物(框架式结构)和厂房(排柱式结构)的定位是采用矩形定位控制网来实现。矩形定位控制网的测设(图3)为:依据建筑方格网或原测量控制网测设主轴线 $I-I$ 和 $II-II$ ;在主轴线基础上采用

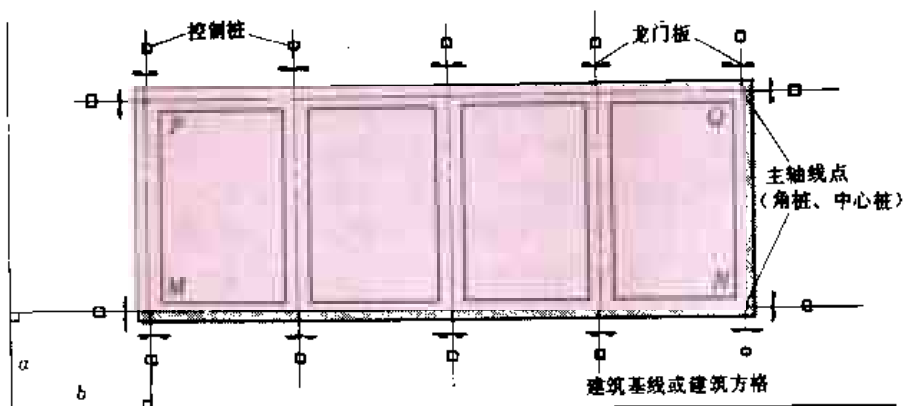


图2 主轴线标定和龙门板布置

直角坐标法标定矩形网的角桩 $N_1$ 、 $N_2$ 和 $N_3$ 、 $N_4$ 。在矩形网边上标设框架或排柱的轴线控制桩。

建筑物标定 普通建筑物平面位置的标定是由主轴线点,按基础平面图在龙门板上定出墙中心线,画出墙边线和基础边线,在地上画出基槽开挖边线(图2)。大型建筑物和厂房是根据矩形控制网上的轴线桩标出各桩(或框架)的定位桩(图3)。对于工业场地上特有的构筑物(如煤仓、胶带走廊等)的定位是依据井筒十字中线点进行。建筑物的高程位置由场地高程控制点来标定,包括底层室内地坪的设计高程线,即 $\pm 0$ 假定高程线;基础坑底和顶面高程线等。高层建筑物应向各层楼板转设主轴线,并检查墙身竖直程度。厂房排柱上安装吊车时,应向柱顶转设吊车梁中心线,并检查柱体竖直程度。

建筑物竣工测量和变形观测 见建井测量。

(田佩俊)

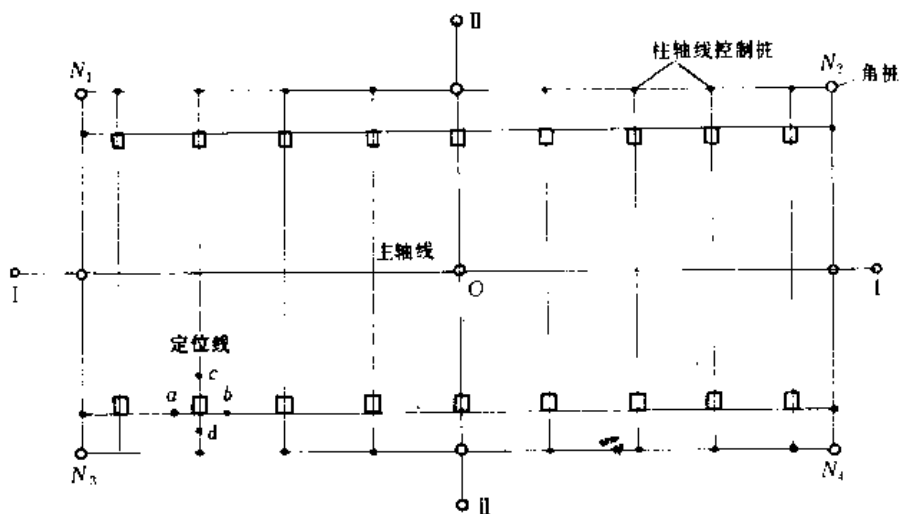


图3 矩形定位控制网

guantong celiang

贯通测量 (holing-

through survey) 采用两个或多个相向或同向掘进工作面掘进同一井巷时,为使其按设计要求在预定地点接通而进行的测量工作。采用贯通方式掘进同一巷道,可以加快施工进度,改善通风状况与劳动条件,有利于矿井开采与掘进的平衡接续。

贯通测量的基本方法是





测出贯通巷道两端导线点的坐标和高程,通过计算求得标定数据,即求出巷道中线的坐标方位角和巷道腰线的坡度,以及巷道两端点处的指向角。利用上述数据在巷道两端分别标定出巷道中线和腰线,指示巷道按同一方向和同一坡度相向掘进,直到贯通相遇点处相互接通。

**贯通类型** 井巷贯通主要分为一井内巷道贯通、两井间巷道贯通和立井贯通三种类型。各种贯通工程的允许偏差,主要根据工程的要求,亦可通过理论计算来确定。巷道贯通的偏差主要发生在三个方向上,即垂直于巷道中线的水平方向( $x'$ 方向)、沿巷道中线的方向( $y'$ 方向)和竖直方向( $z$ 方向)。平巷和斜巷贯通时,只有 $x'$ 和 $z$ 两个方向上的偏差影响巷道的正常使用,所以称 $x'$ 和 $z$ 两个方向为贯通测量的重要方向。立井贯通时,主要是井筒中心平面位置的偏差对井筒有影响。

**贯通测量的主要任务**

(1)根据贯通巷道的种类和允许偏差,选择合理的测量方案和测量方法。重要的贯通工程要进行贯通测量误差预计,采取提高精度的相应措施,例如用陀螺经纬仪定向和加测陀螺定向边,用光电测距仪测距,短边测角时注意提高对中精度,斜巷中测角注意仪器整平等。

(2)根据选定的测量方案和测量方法进行各项测量工作的施测和计算,以求得贯通测量导线终点的坐标与高程,据此来计算贯通巷道的标定要素,并实地标定贯通巷道的中线和腰线。

(3)对贯通导线和联系测量进行精度评定,并与误差预计时所采用的有关参数相比较,若实测精度低于原设计要求,则应采取提高精度的相应措施。

(4)配合掘进施工,及时延长中腰线,定期进行检査验收测量和填图,并根据测量成果,检查和调整巷道掘进的方向与坡度。当相向掘进的两工作面之间相距20m左右时,测量人员应以书面形式报告矿井和掘进队技术负责人,以便采取相应的安全措施。

(5)巷道贯通后,立即测量贯通的实际偏差,并对最后一段巷道的中腰线进行调整。重要的贯通工程还应做出技术总结。

**一井内巷道贯通测量** 由井下同一条起算边开始,能够敷设井下经纬仪导线到达贯通巷道两端的贯通。这类贯通只需进行井下经纬仪导线测量和高程测量,即可求得标定数据。

如图1所示,设计要求在A点与B点之间贯通二号石门,其测量与计算工作包括:

(1)敷设井下经纬仪导线到贯通巷道的两端,求出

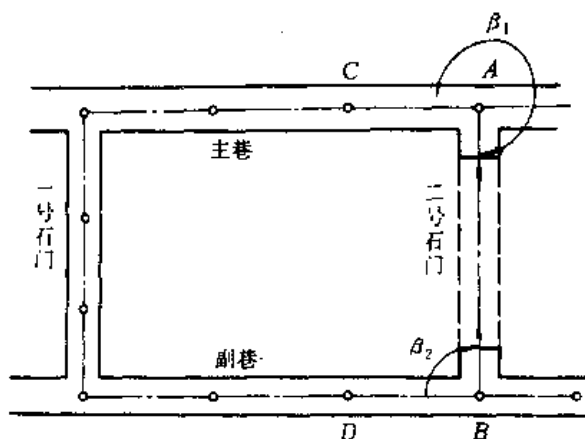


图1 在两已知点间贯通巷道

A、B点的坐标 $x_A$ 、 $y_A$ 、 $x_B$ 、 $y_B$ 与高程 $H_A$ 、 $H_B$ ,以及坐标方位角 $\alpha_{CA}$ 和 $\alpha_{BD}$ 。

(2)用坐标反算公式求出标定数据,其中

$$\text{坐标方位角} \quad \alpha_{AB} = \arctg \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A}$$

$$\text{指向角} \quad \beta_1 = \alpha_{AB} - \alpha_{AC}$$

$$\beta_2 = \alpha_{BA} - \alpha_{BD}$$

$$\text{平距} \quad l_{AB} = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2}$$

$$\text{坡度} \quad i_{AB} = \frac{H_B - H_A}{l_{AB}}$$

$$\text{倾角} \quad \delta_{AB} = \arctg \frac{H_B - H_A}{l_{AB}}$$

(3)用上述数据,即可在巷道两端同时标定出二号石门的中线和腰线,以指示巷道相向掘进。

**两井间巷道贯通测量** 不能由井下同一条起算边向贯通巷道两端敷设井下经纬仪导线的贯通。这类贯通工程,必须进行地面控制测量和矿井联系测量,然后再进行井下测量,才能求得标定数据。

如图2所示,在一号立井与二号立井之间贯通平巷。为了保证巷道贯通,应进行以下测量工作:①自地面三角点A分别向两井口布设地面导线,求得连接点I及J的坐标,并进行水准测量,测得井口水准基点高程;②通过一号及二号立井,分别进行定向及导入高程测量,求得井下起始点1、2、3、4的坐标、高程及起始边的坐标方位角;③根据2号点和4号点的坐标和高程,求得标定数据,并在实地标定出贯通巷道的中线和腰线,指示平巷掘进,直到平巷贯通。

**立井贯通测量** 如图3所示,采用相向开凿方式,即同时由地面向下和由-300m水平向上开凿三号立井。这时的测量工作包括:①在主、副井及三号井附近建立近井点A及B;②根据近井点B和井筒中心的设

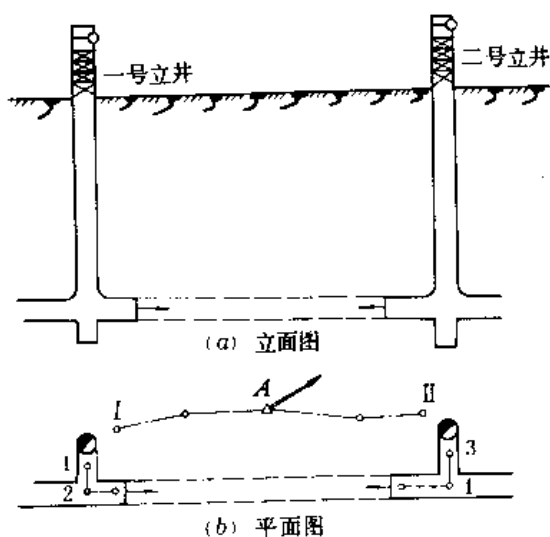


图2 两井间巷道贯通测量

计坐标,计算标定数据,然后在地面实地标定出三号井井筒中心 $O$ ,指导井筒由上往下开凿;③通过主、副井进行联系测量,并在井下一300m水平大巷中敷设导线到达三号立井附近,利用 $E$ 点坐标和 $O$ 点坐标求出标定数据,在-300m水平标定出三号井井筒中心 $O'$ ,指示井筒自下而上开凿。

**立井延深贯通测量** 这类贯通测量的主要任务是在各延深水平上标定出井筒中心的位置,并使标定的井筒中心位置与原有立井中心处于同一铅垂线上。如图4,需要将立井由一水平延深到二水平。为了不影响原井筒的正常生产,从一水平井底车场附近,开凿辅助

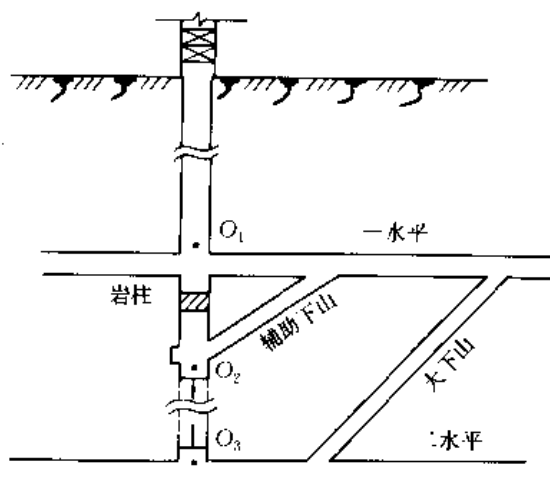


图4 立井延深贯通测量

巷道贯通后实际偏差的测定及中腰线的调整

(1)水平面内实际偏差的测定。将贯通相遇点两侧的中线同时延长到巷道接合处,丈量两中线之间的垂距,即为水平重要方向上的实际偏差。为了评定贯通导线的精度,可将贯通相遇点两边的导线连接起来,计算出角度和坐标闭合差。

(2)高程方向上实际偏差的测定。把贯通相遇点两侧的腰线同时延长到巷道接合处,丈量两腰线之间的高差,即为高程方向上的实际偏差。将贯通相遇点两侧的高程点(或导线点)用水准测量(或三角高程测量)进行连测,则可求得高程闭合差。

(3)中腰线的调整。用贯通相遇点两侧相隔一定距离的两中线点连线,代替原来的中线,作为最后一段巷道铺轨和支护的依据。调整腰线时,应按高程方向上的实际偏差,计算出调整腰线时的水平长度,以使调整后的腰线坡度与原设计坡度之差不大于1‰。用求得的腰线代替原来的腰线。

(朱家钰)

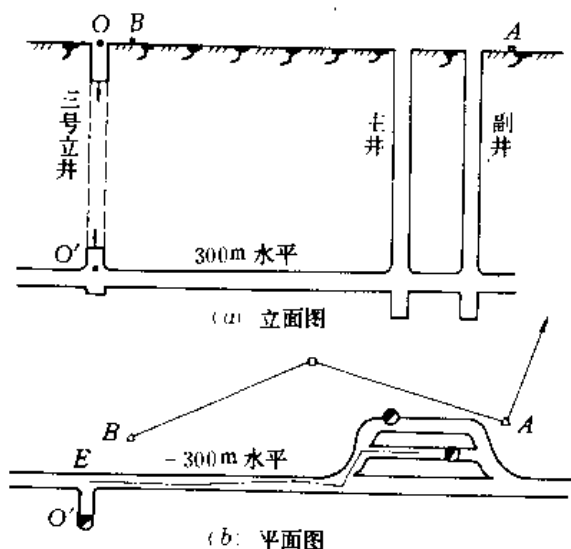


图3 立井贯通测量

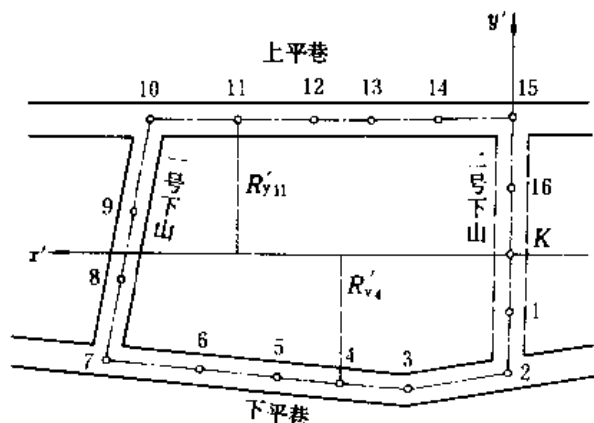
guantong celiang wucha yuji

# 贯通测量误差预计 (error prediction of holing-through survey)

按照所选定的测量方案及方法,应用最小二乘准则及误差传播律,对贯通精度的一种估算。它是预计贯通实际偏差最大可能出现的限度,而不是预计贯通实际偏差的大小,目的是优化测量方案与选择测量方法。贯通测量误差预计分为:一井内巷道贯通测量误差预计;两井间巷道贯通测量误差预计;立井贯通测量误差预计。

进行误差预计之前,根据贯通工程设计图,绘制贯通测量设计平面图,初步确定测量方案、使用的测量仪器、方法和误差参数,用相应的误差计算公式,计算出各项测量误差所引起的贯通相遇点在贯通重要方向上的误差。将计算所得的预计误差与允许偏差进行比较,若预计误差小于允许误差,则初步确定的贯通测量方案与方法是可行的;否则,应进行分析,针对引起较大误差的薄弱环节进行调整和改进,重新进行误差估算,直到符合要求为止。根据最终选定的贯通测量方案和测量方法,编写设计说明书,绘制贯通测量设计图,指导贯通施测工作。

一井内巷道贯通测量的误差预计 计算井下导线测量和高程测量引起的贯通误差。如下图所示,在上、下平巷之间贯通二号下山,预定贯通相遇点为K。



一井内巷道贯通测量误差预计

水平重要方向( $x'$ )上的误差预计 贯通测量误差就是由K点开始,沿下山和平巷敷设导线,并测回到K点引起的误差。从形式上看是一条闭合导线K-1-2-...-15-16-K,但在贯通之前实际上是一条支导线。所以预计在水平重要方向上的贯通误差,就是预计支导线终点K在 $x'$ 方向上的误差 $m_{x_K}$ 。由导线的测角和量边误差引起的K点在 $x'$ 方向上的误差为:

$$M_{x_K}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum R_{y_i}^2$$

$$M_{x_K}^2 = \sum m_l^2 \cos^2 \alpha'$$

式中 $m_\beta$ 为井下导线的测角中误差; $R_{y_i}$ 为K点与各导线点连线在 $y'$ 轴上的投影长,由设计图上量取; $m_l$ 为量边中误差; $\alpha'$ 为导线各边与 $x'$ 轴的夹角,即各边的假定方位角。

K点在 $x'$ 方向上的预计中误差为:

$$M_{x_K} = \pm \sqrt{M_{x_K}^2 - M_{x_1}^2}$$

若导线独立测量两次,则平均值的中误差为:

$$M_{x_{K\mp}} = \frac{M_{x_K}}{\sqrt{2}}$$

K点在 $x'$ 方向上的预计误差为: $M_{x_{K\mp}} = 2M_{x_{K\mp}}$ 。

竖直方向上的误差预计 贯通相遇点K在竖直方向上的误差是由上、下平巷中水准测量误差和两个下山中三角高程测量误差引起的,可按水准测量和三角高程测量的误差公式分别计算,然后求其累积总和。

两井间巷道贯通测量误差预计 除进行井下导线测量和高程测量外,还必须进行地面测量和矿井联系测量。地面测量可以采用导线、三角网或三边网等方法。引起贯通相遇点K在水平重要方向上的误差为:①地面平面控制测量误差引起K点在 $x'$ 方向上的误差 $m_{x_{\text{上}}}$ ;②定向误差引起K点在 $x'$ 方向上的误差 $m_{x_{\text{中}}}$ ;③井下导线测量误差引起K点在 $x'$ 方向上的误差 $m_{x_{\text{下}}}$ ,可分别计算。然后计算K点在 $x'$ 方向上的总误差为:

$$M_{x_K} = \pm \sqrt{m_{x_{\text{上}}}^2 + m_{x_{\text{中}}}^2 + m_{x_{\text{下}}}^2}$$

K点在 $x'$ 方向上的预计误差为: $M_{x_{K\mp}} = 2M_{x_K}$ 。

引起贯通相遇点K在高程上的误差为:①地面高程测量误差 $m_{h_{\text{上}}}$ ;②导入高程误差 $m_{h_{\text{中}}}$ ;③井下高程测量误差 $m_{h_{\text{下}}}$ 。则K点的高程总中误差为:

$$M_{h_K} = \pm \sqrt{m_{h_{\text{上}}}^2 + m_{h_{\text{中}}}^2 + m_{h_{\text{下}}}^2}$$

K点在高程上的预计误差为: $M_{h_{K\mp}} = 2M_{h_K}$ 。

立井贯通测量误差预计 立井贯通的主要任务是保证井筒上、下两个掘进工作面上所标出的井筒中心位于一条铅垂线上。贯通的偏差为该两工作面上井筒中心的相对偏差。它是由地面平面测量、矿井联系测量和井下导线测量的误差引起的,可分别计算这些测量误差引起的井下井筒中心相对地面井筒中心的点位误差,然后求其累积总和,并计算预计点位误差。

在保护岩柱下进行立井延深时,是以生产水平现有井筒中心坐标为依据,在延深用的临时水平按该坐

标出井中位置,指示井筒延深。因此贯通偏差为临时水平井筒中心相对生产水平井筒中心的偏差,它是由生产水平井筒中心至临时水平井筒中心敷设的井下导线测量误差引起的,可计算这段导线测量误差引起的临时水平井筒中心相对生产水平井筒中心的点位误差,并计算预计误差。

(朱家钰)

guangdian ceju

**光电测距** (electro-optical distance measurement) 利用光波作为载波,经调制后从测线一端发射出去,由另一端反射回来,测定发射波与回波的相位差或时间间隔,以测量距离的方法。实际工作中,是用此原理制成的光电测距仪测量两点间的距离。如图1,在A点上的光电测距仪主机发射调制光波,经B点上的反射棱镜将光波返回主机,测出光波往返传播时间为 $t_{2D}$ ,则待测距离 $D = \frac{1}{2} C t_{2D}$ ,式中 $C$ 为光波在大气中的传播速度。测定传播时间 $t_{2D}$ 有两种方法:脉冲法和相位法。

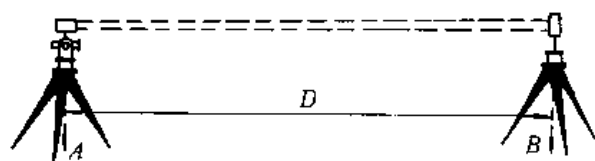


图1 光电测距原理

**脉冲法** 直接测定光脉冲信号在待测距离上往返传播的时间来求得距离的方法。由置于测站的光电测距仪激光发射器发出一束光脉冲,通过光学系统,射向被测目标。发射的同时,输出一电脉冲信号,经触发器打开电子门,让时标脉冲通过,并由计数器记下通过的时标脉冲个数。激光器发射的光脉冲到达被测目标后,经反射,回光脉冲被光电接收器接收,并将光脉冲转换为电脉冲,作为计时的终止信号,经放大器送入触发器,去关闭电子门,时标脉冲停止通过。电子门的开-闭的时间间隔,就是光脉冲往返待测距离的时间 $t_{2D}$ 。若计数器记下通过的时标脉冲个数为 $n$ ,则距离值 $D$ 为:

$$D = \frac{1}{2} C t_{2D} = \frac{C}{2f_{cp}} n \quad (1)$$

式中 $f_{cp}$ 为时标脉冲频率,每一个时标脉冲代表的距离为 $\frac{C}{2f_{cp}} = \frac{\lambda}{2}$  ( $\lambda$ 为调制光波的波长)。

**相位法** 通过测定连续调制光波在待测距离上往返传播产生的相位差(以代替测定时间 $t_{2D}$ ),间接求定距离的方法。如图2,设调制光波在待测距离 $D$ 上往返传播的时间为 $t_{2D}$ ,由于调制光波具有周期函数的特性,故经历时间 $t_{2D}$ 后,产生的相位移 $\varphi$ 为:

$$\varphi = 2\pi f t_{2D} \quad (2)$$

式中 $f$ 为调制光波的频率。则

$$D = \frac{1}{2} \frac{C}{f} \frac{\varphi}{2\pi} \quad (3)$$

当调制光波的波长 $\lambda (=C/f)$ 小于距离 $D$ 时,由图2可知:

$$\varphi = N_1 2\pi + \Delta\varphi_1 = 2\pi(N_1 + \Delta N_1) \quad (4)$$

式中 $N_1$ 为调制光波的整周期数; $\Delta N_1 = \frac{\Delta\varphi_1}{2\pi}$ 为不足一个周期的尾数; $\Delta\varphi_1$ 为不足一个整周期( $2\pi$ )的相位尾数。则

$$\begin{aligned} D &= \frac{1}{2} \frac{C}{f_1} (N_1 + \Delta N_1) \\ &= L_{s1} N_1 + L_{s1} \Delta N_1 \end{aligned} \quad (5)$$

式中 $L_{s1} = \frac{1}{2} \frac{C}{f_1} = \frac{\lambda_1}{2}$ 为单位长度,也称测尺长度。

由式(5)看出,相位法测距类似于钢尺量距,尺长为 $L_{s1}$ , $N_1$ 为整尺数, $\Delta N_1$ 为不足整尺的尾数。

由于相位计一般只能给出 $\Delta\varphi$ 值,而相位移 $\varphi$ 则无法判读整周期数 $N_1$ ,使式(5)产生了多值解,距离 $D$ 也就无法确定。即当距离 $D$ 大于测尺长度 $L_{s1}$ 时,仅用一个测尺无法确定距离值。因此尚需有其他测尺,设其长度为 $L_{s2}$ ,与此相应的调制光波的整周期数为 $N_2$ ,不足一个周期的尾数为 $\Delta N_2 = \frac{\Delta\varphi_2}{2\pi}$ ,当距离 $D$ 小于测尺长度时, $N_2=0$ ,式(5)可变为:

$$D = L_{s2} \Delta N_2 = L_{s2} \frac{\Delta\varphi_2}{2\pi} \quad (6)$$

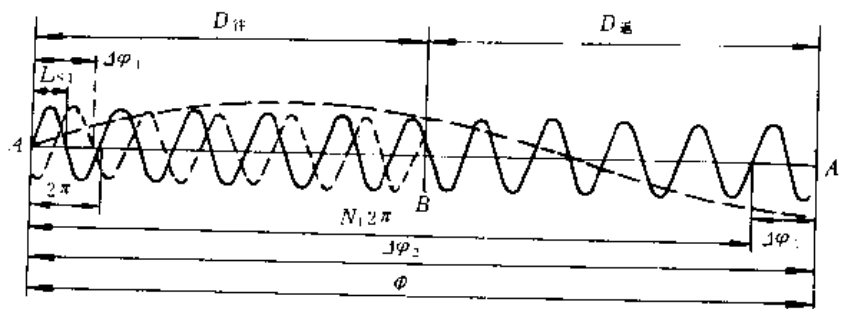


图2 相位法测距原理

因  $\Delta\varphi_2$  小于  $2\pi$ , 相位计能给出  $\Delta\varphi_2$  的确定值, 故距离不存在多值解的问题。依此道理, 选用一单位长度较短的测尺 (称精测尺)  $L_{\text{精}}$  来测定距离尾数, 以保证测距精度; 再选用一个或几个辅助测尺  $L_{\text{辅}}$  (又称粗测尺), 来测定大于精测尺  $L_{\text{精}}$  的长度; 然后将各测尺的测距读数组合起来, 就能得到准确距离值。

目前, 中、短程光电测距仪多采用相位式测距原理制成, 测距精度达到毫米级, 已广泛用于矿区平面控制网测量和重要工程测量工作中。

为使光电测距结果少受外界环境和大气条件的影响, 在地面选择光电测距边时, 测线上不应有反光物体, 尽可能使测线远离吸热、散热不同的地区 (如湖泊、河流、沼泽地和水稻田等), 且避免受电磁场的干扰, 严禁将照准头对向太阳。

在进行光电测距作业时, 应同时测量环境温度和气压, 以便进行气象改正。

光电测距结果应进行加常数、乘常数和气象因素三项系统误差改正后, 才能将斜距化算为水平距离。

(张鸣权)

## guangdian cejuyi

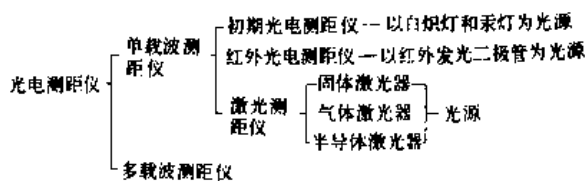
**光电测距仪** (electro-optical distance measuring instrument) 通过测量调制光波在待测距离上往返传播的时间或相位差来获得距离的仪器。

第一台光电测距仪是由瑞典人贝里斯特兰德 (E. Bergstrand) 在 1948 年研制成功的。初期的光电测距仪, 采用电子管线路、以白炽灯或汞灯作光源。1960 年, 美国人梅曼 (T. H. Maiman) 研制成红宝石激光器, 对光电测距仪的迅速发展起着推动作用。由于激光具有方向性强、亮度高、单色性和相干性好、可以昼夜观测等特点, 是测距仪比较理想的光源。又由于这种光源体积小、重量轻、结构简单和易于调制, 大大地简化了测距仪的结构。目前, 砷化镓发光二极管是轻便型测距仪更为理想的光源。对于长测程光电测距仪, 提高精度的主要障碍是被测距离沿线的气象参数 (气温、气压和湿度) 很难精确测定。为解决这个问题, 采用两个或两个以上的不同颜色 (波长) 的多载波测距, 使气象因素对测距的影响可以忽略不计, 因此, 多载波测距已成为长测程精密测距仪发展的新方向。

光电测距仪的出现, 使测绘工作发生了很大变化: ①用光电测距仪直接测量三角网的起始边长度, 取代了用因瓦基线尺测量基线的方法; ②使用光电测距仪测量导线、边角网有逐渐取代传统三角测量的趋势; ③采用与光电测距仪组合在一起的电子速测仪测量, 将逐步实现测量数据采集、处理、存储和绘图自动化。

## 光电测距仪的类型

(1) 按光源和载波划分, 如图。



光电测距仪的分类

(2) 按测距装置与测角装置 (即经纬仪) 配合使用的结构方式不同, 分为: ①单一型, 这类仪器的结构特点是测距装置单独使用, 只供测距用, 若要测量目标的垂直角, 需另外用经纬仪进行观测。②装载型, 分望远镜装载型 (参见彩图插页第 54 页 1) 和柱上装载型 (参见彩图插页第 54 页 2) 两种。用望远镜装载型测距仪测距时, 将测距装置安置在经纬仪上, 测角时必须将测距装置从经纬仪上取下, 否则望远镜不能倒转。用柱上装载型测距仪测角时, 不取下测距装置也可以进行正倒镜观测。这两种都是常见的结构形式, 便于一机多用。③集成型, 这类仪器的结构特点是测距装置的发射、接收系统与经纬仪的望远镜瞄准系统共轴, 照准头与望远镜组成一个整体, 不可拆卸, 此类仪器的优点是测距与测角可同时进行。

(3) 按目标反射方式可分为: ①靠自然物 (或被测目标) 反射, 不用反射棱镜; ②靠由反射棱镜 (参见彩图插页第 55 页) 组成的反射器反射。

(4) 按测程分。一般认为: 测程  $\leq 3\text{km}$  的称为短程测距仪; 测程为  $3\sim 15\text{km}$  的称为中程测距仪; 测程  $> 15\text{km}$  的称为长 (远) 程测距仪。

**光电测距仪的精度** 生产厂给出的光电测距仪的精度指标, 即标称精度 (标准精度), 用下式表示:

$$M = \pm (A + BD)$$

式中  $M$  为测距中误差;  $A$  为与被测距离  $D$  无关的误差 (称为固定误差),  $\text{mm}$ ;  $B$  为与被测距离  $D$  成比例的误差 (称为比例误差),  $\text{mm/km}$ ;  $D$  为被测距离,  $\text{km}$ 。

在大地测量、城市测量、工程测量、矿山测量、地形测量和地籍测量工作中, 使用最多的是中、短程红外光电测距仪。根据测距仪出厂的标称精度的绝对值, 按  $1\text{km}$  的测距中误差, 测距仪可分为三级: I 级,  $M < 5\text{mm}$ ; II 级,  $5\text{mm} \leq M \leq 10\text{mm}$ ; III 级,  $10\text{mm} < M \leq 20\text{mm}$ 。

**光电测距仪的检测** 光电测距仪在使用前, 应依照仪器使用说明书和有关规程的要求, 进行一般性能检查、校正和仪器常数 (包括加常数和乘常数两项) 检

测。加常数是指所使用的仪器测得的距离与实际距离之间的常数差；乘常数是由于大气折射率和测尺频率的变化而引起测尺长度的改变。

采用六段解析法测定加常数，用六段比较法测定加常数和乘常数。六段解析法是在平坦场地上，标定 1 条直线，将其分成 6 段，设置 7 个观测点。用光电测距仪按全组合观测法测出 21 个组合距离，经过测量平差，求得仪器的加常数。六段比较法是在野外标设 1 条基线，划分为 6 段，埋设 7 个测点。用因瓦基线尺丈量 6 个分段的长度作为标准值，用光电测距仪按全组合测出 21 个距离，经过气象和倾斜改正后与标准值比较，按最小二乘准则采用一元线性回归的方法求解加常数和乘常数。

用六段比较法测出的 21 个距离，经气象、倾斜、加

常数和乘常数的修正后，与已知的基线标准值进行比较，评定仪器的标称精度。

由于电子元器件的老化，光机结构的位移等因素的影响，仪器常数可能发生变化，因此应定期检验测距仪的加常数和乘常数。

随着微电子学的日益发展，光电测距仪的改进型和新产品不断出现。有的测距仪在镜站增设了供定线放样用的通讯器件，可将测站的必要信息传输给镜站，从而提高了作业的工作效率。为适应煤矿井下条件的要求，前苏联、德国、瑞士等国家先后研制成功防爆型光电测距仪。中国在 20 世纪 80 年代后期，也改制成功本安型防爆光电测距仪，并已在中国煤矿推广使用。

(张鸣权)



# H

hangkong sheying celiang

**航空摄影测量** (aerophotogrammetry) 在航空飞行器上利用专业摄影机拍摄地面象片, 获取地貌、地物信息, 应用光机模拟型或解析型测图设备, 实现摄影过程的几何反转, 根据航摄像片上象点与相应地面点间的几何与物理关系, 通过量测与判译, 测绘地形图的技术。主要工作包括航空摄影、航测外业与航测内业。航摄像片是航测成图的基本资料。航测内业是在航测外业基础上进行的。

**发展简史** 1859年, 法国 A. 洛斯塔 (A. Laussedat) 首创了从一条“基线”的两端点, 摄取建筑物目标点的两张象片, 然后以交会法确定所摄待测目标, 开始了摄影测量的历史。一百多年来, 摄影测量技术已由地面摄影测量发展成为航空摄影测量、近景摄影测量、航天摄影测量等多个分支。第一次世界大战以后, 逐步完善了航空摄影测量系统。到 20 世纪 50 年代末, 电子计算机技术的发展与应用, 促使研制解析测图设备, 60 年代是光学模拟的航测理论、仪器、设备与方法趋于成熟的时期, 此后才出现了航测技术由模拟法向解析法的过渡。进入 80 年代, 推出了多种由光学机械与计算机相匹型的解析测图设备, 并向全数字摄影测量与实时摄影测量方向发展。20 世纪 70 年代末, 应用全球定位系统 (Global Positioning System, GPS) 并与航测技术结合, 使航测外业的象片控制测量提高了工效, 并为无野外控制的航测成图提供了可能性。

中国的航空摄影测量始于 20 世纪 30 年代。1949 年以前, 曾用航测方法测制各种比例尺的军事要塞图、地籍图、水利与铁路专用地形图, 象片数数万幅, 覆盖实地面积约百万平方公里。1949 年以后, 首先在治淮工程中大规模地开展了航测工作。随着经济、国防建设的急需, 航测技术迅速发展, 作业规范与标准逐步制订并完善。全国 (除青藏高原外) 1:5 万、1:10 万地形图, 几乎全部采用航测方法成图。

中国煤炭工业航测事业起步于 20 世纪 60 年代中期。煤矿用图多系 1:5 000 以上的大比例尺地形图,

初期是在中、小比例尺测图设备上开展了生产大比例尺航测地形图的研究工作, 开发并制订了成套的生产技艺与规程, 使大比例尺航测地形图的测制形成生产能力。70 年代, 采用解析法空中三角测量加密, 结合精密立体测图设备, 使测图比例尺进一步向 1:2 000、1:1 000 发展。80 年代, 由模拟法测图向解析法测图转化, 具有批量生产更大比例尺 (如 1:500) 数字化地形图的能力。数字制图已从煤田地质勘探、基建阶段的矿区地形图发展到生产矿区矿图信息系统的开发与研究。

航测成图的主要优点: ①外业工作量大大减少, 量测工作量大部分转向室内, 受自然地理条件制约程度相应降低; ②机械化、自动化程度高, 提高了工作效率; ③地物、地貌形态显示逼真, 现势性好, 相关位置正确, 成图数学精度均匀可靠; ④数字化测图成果便于存储、检索与综合利用, 可为各类专题图件需要提供数据, 更便于地图修测与更新。

**航空摄影** 利用航空摄影机从空中对地面拍摄载有地表影像信息的象片, 间接采集被摄目标的几何与物理信息。1858 年, 法国 G. F. 托尔纳松首先用普通相机从系留气球上获取了巴黎与波士顿的鸟瞰图, 开辟了航空摄影的历史。1909 年, 美国 W. 莱特 (W. Wright) 在意大利又从飞机上对地面进行了摄影。继 1915 年德国 O. 梅斯特尔 (O. Meister) 制造了第一台连续摄影机之后, 美国 J. W. 巴格莱研制了第一台航空摄影机, 从此航空摄影技术进入了健全发展的阶段。到 20 世纪 30 年代已成为航测的前期工序——信息获取的主要技术手段。

航空摄影要求航摄飞机的视野广阔, 续航时间长, 航速适中, 稳定性能好。航空摄影机的镜头具有高分辨率, 畸变很小, 按视角的大小可分为常角 (60°)、宽角 (90°)、特宽角 (120°)。

飞行与摄影工作在测区内设计的数条相互平行的飞行航线上进行, 航迹线与南北 (或东西) 图廓平行。对航线的弯曲度、同一航线内各片的航高差、象片的旋

角、同航线内相邻象片拍摄的重叠度、相邻航线间的重叠度都有具体规定。航摄底片在曝光时应压平。航测成图多采用竖式摄影,即航摄机的物镜主光轴应处于铅垂方向,偏差不应超过 $3^\circ$ 。航摄比例尺,可近似地用航摄机主距 $f$ 与相对航高 $H$ 之比表示,即 $1:M=f:H$ 。大比例尺测图时,成图比例尺多为航空摄影比例尺的4~6倍。

航摄像片是航空摄影的直接成果,也是航空摄影测量的原始资料。它和被摄地表的中心投影,采用画幅式竖式航摄像片测制不同比例尺地形图,要求影像清晰,具有足够的分辨率。实际工作中常以影像的最大与最小密度值之差来衡量影像质量,要求反差适宜、灰雾度最小,底片上应无云影,药膜无条痕与损伤。摄影过程中使用的药液配方与景物反差相匹配;显影、定影、水洗处理正确,使象片色调正常,影纹细部表现充分。

**外业** 主要包括控制测量与象片调绘两项工作。

**控制测量** 由基础控制测量与象片控制测量组成。

**基础控制测量** 如等级控制点的密度不够,可根据测区的实际情况和具体要求,加密一定数量的控制点,作为象片控制测量的基础。平面坐标可采用全球定位系统测量、三角测量、导线测量、边角测量、三边测量确定;高程可采用三角高程测量、水准测量确定。

**象片控制测量** 布设和测定象片控制点的工作,是航测内业控制点加密和测图的依据。象片控制点可分为平面控制点(仅测定点的平面坐标)和平高控制点(测定点的平面坐标与高程)。

因内业加密与测图的方法不同,象片控制点的布设数量与点位有不同要求:①综合法成图的全野外布点,在每一隔号象片测绘面积的4个角上各布设1个平高点,并在测绘面积中心布设1个平高点作检查。②全能法成图时可用全野外布点,即每一个立体象对布设4个平高点,若控制点的平面位置由内业加密完成,则野外仅测定高程;也可用航线网布点,即按航线每分段布设6个平高点,首末端点间的间隔基线数,因地形类别、成图比例尺等因素而有所不同。航线中间两控制点一般应布设在首末控制点的中线上;用区域网法布点时,沿周边布设6个或8个平高点,高程控制点的跨度在1:2 000成图时,沿航线方向间隔4~6条基线;1:500、1:1 000成图的定向点高程多采用全野外布点,当用内业加密时,跨度为2~4条基线。

象片控制点平面坐标通常采用线形锁、交会法、导线及GPS等方法测定;高程则根据地形条件可采用高程导线测量、三角高程测量和水准测量测定。

20世纪90年代以来,GPS定位技术被逐步推广

使用,可高效地进行象片控制测量。使用动态GPS接收系统,可记录航摄机的外方位元素,实时确定摄站位置,从而减少地面控制,甚至实现无地面控制下的室内空中三角测量。

**象片调绘** 利用航摄像片进行判读、调查和绘注。根据影像特征(形状、大小、色调、阴影、相关位置)识别象片上各种影像所反映的地物、地貌。根据用图要求,进行适当的综合取舍,按有关规范与图式符号规定,将地物、地貌元素描绘在相应的影像上,量测、调查各种数据资料,记注地理名称。如航摄比例尺较小,一般用放大调绘。象片的调绘内容与平板仪测图内容相同。

**内业** 主要包括测图控制点加密、室内判绘与成图。航测内业的双象成图是用具有一定影像重叠的立体象对,经立体观察与量测,确定点的平面坐标与高程,测绘地形图。为了量测立体模型,定义必要的量测元素与坐标系,经过坐标变换,实现摄影过程的几何反转。

#### 基础知识

**内方位元素** 为确定摄影中心与象片间的相互关系,进行象片的内定向,可用摄影机主距 $f$ 和物镜后节点正投影于象平面坐标系(象片上框标点的纵横连线)中的坐标值 $(x_0, y_0)$ 来确定, $f, x_0, y_0$ 三个元素即为内方位元素。这些数据在航测机鉴定时,经测定可为已知值。

**外方位元素** 确定摄影光束空间位置的6个元素。即摄影中心 $S$ 在空间坐标系中的坐标值 $(x_s, y_s, z_s)$ 和确定摄影光束空间方位的3个角元素 $(\varphi, \omega, \kappa)$ 。

**象点坐标系** 可分为象平面坐标系、象空间坐标系与象空间辅助坐标系。

(1)象平面坐标系。通常是以象片上光标连线的交点为原点,象片上两对边的机械框标连线分别为 $x$ 、 $y$ 轴。

(2)象空间坐标系。是以摄影中心 $S$ 为坐标原点, $z$ 轴与摄影机主光轴重合, $x$ 、 $y$ 轴分别平行与象平面坐标系中的 $x$ 、 $y$ 轴方向,通常以 $(S-xyz)$ 表示。

(3)象空间辅助坐标系。以摄影中心 $S$ 为坐标原点, $z$ 轴可取铅垂方向,也可为某一特定方向,这一过渡性坐标系以 $(S-x'y'z')$ 表示。

**象点的坐标变换公式** 地面点通过摄影中心成像于象平面上,此时,象点、摄影中心与地面点在同一投影光线上,借助象点的坐标变换,可以推导出象点与相应地面点的几何关系,如图1所示。

在以摄影中心 $S$ 为原点,摄影主光轴为 $z$ 坐标轴



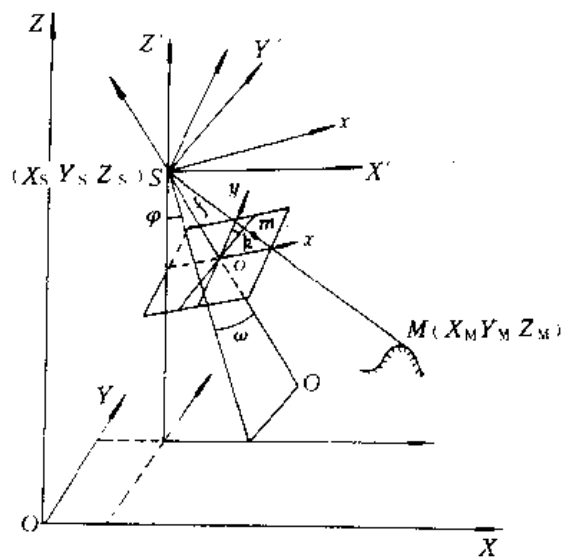


图1 外方位元素与象点坐标系

的象空间坐标系 ( $S-xyz$ ) 中, 象点  $m$  的坐标为  $x_m, y_m, z_m (-f)$ 。以  $S$  为坐标原点再建立一个辅助坐标系 ( $S-X'Y'Z'$ ), 其中 3 个坐标轴  $X', Y', Z'$  分别与模型坐标的 3 个坐标轴  $X, Y, Z$  相平行。点  $m$  在辅助坐标系中的坐标为  $X'_m, Y'_m, Z'_m$ , 则其坐标变换关系式为:

$$\begin{bmatrix} X'_m \\ Y'_m \\ Z'_m \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \\ -f \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中

$$R = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{bmatrix}$$

式中  $R$  为旋转矩阵;  $f$  为摄影机主距, 由象空间坐标系与辅助坐标系相应坐标轴之间夹角的余弦 (称方向余弦) 组成, 均是象片 3 个角定向元素的函数。

根据式 (1) 的反算式作进一步演化, 可导出共线条件方程式, 即投影中心、象点及相应地面点三点共线的条件方程式为:

$$\left. \begin{aligned} x_m &= -f \\ \times \frac{a_1(X_M - X_S) + b_1(Y_M - Y_S) + c_1(Z_M - Z_S)}{a_3(X_M - X_S) + b_3(Y_M - Y_S) + c_3(Z_M - Z_S)} \\ y_m &= -f \\ \times \frac{a_2(X_M - X_S) + b_2(Y_M - Y_S) + c_2(Z_M - Z_S)}{a_3(X_M - X_S) + b_3(Y_M - Y_S) + c_3(Z_M - Z_S)} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中  $(X_S, Y_S, Z_S)$  和  $(X_M, Y_M, Z_M)$  分别为摄影中心  $S$  和地面点  $M$  在某空间坐标系中的坐标;  $x_m, y_m, -f$

为相应象点在象空间坐标系中的坐标;  $a_i, b_i, c_i (i = 1, 2, 3)$  为方向余弦, 是外方位元素的函数。根据 3 个以上野外控制点, 即可解算出象片的 6 个外方位元素。若已知象片的外方位元素, 即可解算出地面点的空间坐标。

**象对的相对定向** 确定立体象对相对方位。目的在于恢复立体象对摄影瞬间的姿态。通过空间的同名光线对对相交, 即同名象点在左右象平面坐标系中的纵坐标之差 (上下视差) 为零, 建立与地面或空间的相似立体模型。同名光线相交即同名光线共面, 完成相对定向, 如图 2。其数学表达式即通常所称的共面条件方程式为:

$$\begin{vmatrix} B'_x & B'_y & B'_z \\ X'_1 & Y'_1 & Z'_1 \\ X'_2 & Y'_2 & Z'_2 \end{vmatrix} = 0 \quad (3)$$

式中  $B'_x, B'_y, B'_z$  为基线 (两相邻空中摄影站间的连线) 在以摄影中心  $S_1$  为原点的象空间辅助坐标系中的 3 个分量;  $X'_1, Y'_1, Z'_1$  为象点  $m_1$  在以  $S_1$  为原点的象空间辅助坐标系中的坐标值;  $X'_2, Y'_2, Z'_2$  为象点  $m_2$  在以  $S_2$  为原点的象空间辅助坐标系中的坐标值。该两坐标系相应的坐标轴相互平行。以上共面条件若以矢量表达则为  $B(R_1 \times R_2) = 0$ 。利用 5 对以上的同名象点, 依共面条件方程式, 可解出立体象对的 5 个相对定向元素, 建立一个数字立体模型。

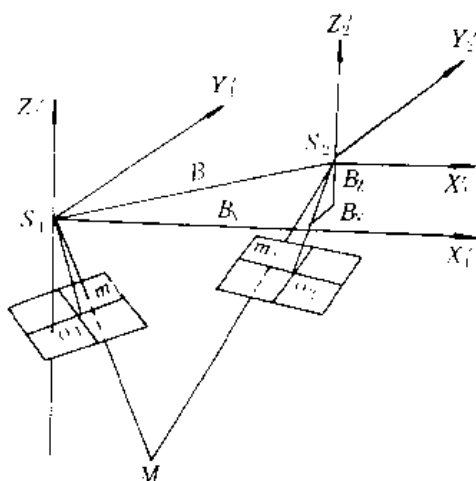


图2 同名光线共面

**模型的绝对定向** 确定立体模型的比例尺和空间方位。常用模拟法和解析法。模拟法是将所建立的立体模型置于坐标系中进行平移、旋转、缩放来完成的。解析法则通过象点的空间辅助坐标的相似变换, 计算模型在地面坐标系中的 7 个绝对定向元素, 其公式为:

$$\begin{bmatrix} X_T \\ Y_T \\ Z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \lambda R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中  $X_0$ 、 $Y_0$ 、 $Z_0$  是模型坐标系原点在地面坐标系中的坐标值； $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  是绝对定向前模型点在模型空间坐标系中的坐标值； $X_T$ 、 $Y_T$ 、 $Z_T$  是模型点在地面坐标系中的坐标值； $R$  是模型坐标系与地面坐标系的旋转矩阵，即以 3 个绝对定向角元素  $\varphi$ 、 $\omega$ 、 $\kappa$  为函数所组成的方向余弦矩阵； $\lambda$  为比例因子。式 (4) 即为式 (1) 加入模型坐标系原点在地面坐标系中的坐标值及模型的实际缩放系数的结果。

**测图控制点加密** 为有效地保证成图精度，在少量野外象片控制点的基础上，在室内进一步加密控制点，满足测图的需要，有辐射三角测量、模拟法空中三角测量和解析法空中三角测量三种方法。

**辐射三角测量** 20 世纪 50 年代以前，曾用于平坦地区的中、小比例尺测图加密平面控制点。采用竖直摄影象片，由辐射中心向待定点引出一组平面方向线，在连续重叠的象片上交会同名象点构网，然后根据野外控制点在规定坐标系内进行比例尺缩、放，确定加密点的点位。到 60 年代，该法基本被模拟法空中三角测量所取代。

**模拟法空中三角测量** 利用象点与地面点间的几何关系，在室内借助光学机械仪器加密控制点。模拟法空中三角测量产生于 20 世纪 30 年代，用光学机械仪器实现摄影过程的几何反转。在模拟型立体测图仪上进行空中三角测量，即将立体象对逐个进行相对定向，首先建立单个立体模型，然后借助相邻模型间重叠部分的连接点和公共投影中心，将单个模型依次连接起来，构成航线网模型。再将航线网模型作为一个整体，使之与少量野外控制点相符合。经绝对定向后的模型点坐标，即可作为测图时的控制点。60 年代后，随着电子计算机与计算技术的发展，该法被解析法空中三角测量所取代。

**解析法空中三角测量** 以共线条件方程式、共面条件方程式与绝对定向方程式为基础，按构网与平差的基本单元组成形式可分为航带法、独立模型法与光束法三种。

(1) 航带法。以计算出的相对定向元素和模型点坐标构成单个模型，通过相邻模型间的连接点进行模型连接运算。然后以航带立体模型为解算单元，将其改化到一个共同的坐标系中，经整体平差，求得点的坐标。因其改正的数学模型是近似的，故与其他解析法空中三角测量相比，精度相对低些。

(2) 独立模型法。将每个独立模型作为解算单元进

行平移、旋转、放缩的空间坐标变换，将野外控制点与内业加密点的模型坐标作为观测值，使相邻独立模型的同名点坐标相等，加密点与野外实测坐标相等。列出观测方程式，依最小二乘准则进行整体平差计算，确定各独立模型的相似变换参数和加密点的地面坐标。

(3) 光束法。将单张象片的光束作为解算单元，将其连成一个区域网进行整体平差。以共线条件为基础，依据每个点的坐标观测值，可以列出两个相应的误差方程式，按最小二乘准则进行平差，求出每张象片的 6 个外方位元素，从而求出各加密点的地面坐标。该法理论严密、精度最高，但必须在消除航摄资料系统误差的条件下才能体现。

**成图** 航测成图的测图方法主要有综合法、分工作法和全能法。依产品的类型可分为视线划地形原图、正射影象地形图与数字化原图文件。

**综合法** 航空摄影测量与平板仪测量相结合的测图方法。地物、地貌的平面位置用象片纠正的方法制成象片图或线划图，地形点的高程和等高线则用普通测量方法在野外测定。该法适用于平坦地区的大比例尺成图。

象片纠正是对航摄像片进行投影变换，消除摄影时由于象片倾斜所引起的象点移位，并将其放缩成规定的比例尺。具体作业是采用光学机械纠正法，借助纠正仪将航摄像片纠正成特定比例尺的正射象片，并镶嵌成象片平面图，供野外测绘地貌，调绘地物，成为正射影象地形图。

**分工作法** 根据近似竖直摄影的立体象对，在仪器上量测同名象点横坐标之差（即左右视差），它是高程的函数，通过相应公式，可计算点的高程，测出等高线。然后用投影转绘仪，把象片上勾绘出的等高线和调绘的地物进行分带投影，转绘成地形图。该法适用于丘陵地区成图。因点的平面与高程分别处理，故称分工作法。

**全能法** 恢复立体象对摄影瞬间的姿态，建立与地面相似的立体模型，借助立体观察，测绘地物与地貌。可分为模拟法与解析法。

(1) 模拟法测图。常用的模拟立体象对设备有：①投影系统，用来安置立体象对进行相似光束或仿射光束的投影；②观察系统，使左右两眼能分别观察立体象对的左右两张象片，保证立体观察效果与量测精度，常用的有互补色分光和双筒显微镜分光等；③量测系统，利用手轮、脚盘、浮动测标对模型进行量测，得出模型点正射投影的坐标值；④绘图系统，配有专用绘图桌，用来绘制线划图。模拟测图过程主要包括：①内定向，在测图仪器上安置象片与主距；②相对定向，在立体象对模型范围内选择 6 个标准配置点，按适当顺序在 5



个点上分别用规定动作改正上下视差,在第6个点上进行检查,反复进行改正,直到6个点的上下视差完全消除;③绝对定向,用线段的实际长度与模型中的相应长度来确定模型比例尺,再通过图版的移动、旋转及模型的置平,确定模型的空间方位;④测绘地物、地貌,在立体观察下,借助浮动测标切准地物、地貌特征点,连续描绘出地物、地貌线画图。

(2) 解析法测图。利用各种传感器所获图象,依据象点与相应地面点间的数学关系,用计算机解算象点的地面坐标,并进行测图。其主要设备为解析测图仪,它是由高精度的立体坐标量测仪、小型计算机、接口设备、相应软件、操作台、数控绘图桌等组成的立体测图系统。解析测图仪在测图过程中的作用与模拟型立体测图仪相同,只因立体模型是根据解析数学原理构成的,易于保证精度,并可改正各种象差。这类仪器能够处理各种摄影主距、倾角及各种摄影方式的象片。还可利用空中三角测量、数字地形模型以及同正射投影仪联机或脱机晒印正射影像图,因此它比模拟立体测图有更大的灵活性,且劳动强度低,精度比较高。解析测图的主要作业过程是:①内定向,量测象片框标,并考虑象片收缩、象片坐标系与仪器坐标系之间的仿射变形,以及仪器误差等因素,计算确定象片中心在仪器坐标系中的位置和作业时的象片主距;②相对定向,选择6个标准配置点,从共面条件出发,量测标准配置点,甚至更多象点的坐标,按最小二乘准则解算相对定向元素;③绝对定向,根据3个以上野外控制点的模型坐标与地面坐标,直接进行三维线性相似变换,求得7个绝对定向元素;④测绘地物、地貌,作业人员利用手轮和脚盘,将地面坐标输入计算机后,将计算出的象点在仪器中的坐标,通过数/模转换设备,控制驱动电路,使象片盘或光学系统的部件作相应移动,使左、右测标分别照准同名象点;与此同时,计算机又可实时地控制数控绘图桌,因此,该设备测图的产品可以是目视线划地形图,也可以是数字形式地形图文件。

**正射投影技术** 将航空象片或其他遥感图象变为垂直投影的技术,适用于丘陵地或山地的象片纠正。其基本原理是逐点纠正,消除象点因摄影时光轴倾斜与地面高差所引起的移位。在实际作业中并非逐点纠正,而是使用一小块面积(缝隙)作为纠正单元。在每个单元中取一个基准点,按基准点对纠正单元进行纠正。正射影像图的晒印可以用立体测图仪控制的正射投影装置进行扫描晒象;也可以利用立体测图所取得的扫描断面高程数据,由计算机控制正射投影装置纠正晒象,取得具有地形图性质的影像地图,可供判读、量测使用;也可与等高线叠置晒印成为具有等高线与

地貌相套合的正射影像地形图。

**室内象片判读** 象片调绘可采取先野外判读调查、后室内清绘的方法;也可采用先室内判读、清绘,后野外检核和调查,再室内修改和补充清绘的方法。室内判绘多与测图同时进行。

**原图的刻绘** 在立体测图系统绘图桌上测绘的草图,需经刻绘或清绘方能成为制版原图。刻绘时应使图廓线、公里网严格通过展点针孔,各类控制点、各种线划、符号规格符合图式要求,且中心位置准确,刻绘线划光滑、透亮,图面无损伤;各种注记位置恰当,不压盖重要地物、地貌。作好原图与各类图幅的接边,包括与同比例尺、不同比例尺已成图图幅的拼接,保证各类地物、地貌不得改变其真实形状及相关位置,自由图边必须将地物、地貌测至图廓以外。

**检查验收** 其目的主要是确保成图质量。要求成图资料齐全,数据准确,符合规范、图式以及技术设计的要求,满足下面工序和用图单位的需要。

(沈乃庄)

hangdao zhongyaoxian biaoding

**巷道中腰线标定** (setting-out of center line and slope of roadway) 根据采矿设计在现场标定巷道掘进的方向线和坡度线,又称给中腰线。其目的就是要将图上设计的巷道,随着巷道的掘进逐步地标定于实地。中线即巷道水平投影的几何中心线;腰线就是巷道坡度线。根据巷道类型及巷道间连接情况的不同,诸如一般的巷道、硐室及斜巷连接车场等,中腰线标定方法均有不同特点。

中国煤矿从20世纪70年代以来,已广泛使用矿用防爆型激光指向仪指示巷道掘进方向,以适应快速掘进的需要。

**中线标定** 标定巷道在水平面内的掘进方向,简称给中线。通常是把中线点标记在巷道顶部。标定工作包括巷道开切点标定、直线巷道中线标定和曲线巷道中线标定。

**巷道开切点标定** 如图1,虚线表示设计巷道,AB为巷道中线;5、6为现有巷道内的导线点。先由图上确定标定数据:距离 $l_1$ 、 $l_2$ 和指向角 $\beta$ 。由点5按距离 $l_1$ 在顶板上标出开切点A,在A点安置经纬仪,根据 $\beta$ 角标出1、2两点。1、A、2三点组成一组临时中线点,指示巷道开切的方向。

**直线巷道中线标定** 巷道开切并掘进一段距离后,用经纬仪重新标定一组中线点,点数不少于3个,且点间距离不小于2m,如图2。标定时,首先精确标出开切点A,于A点安置经纬仪,根据 $\beta$ 角用正倒镜

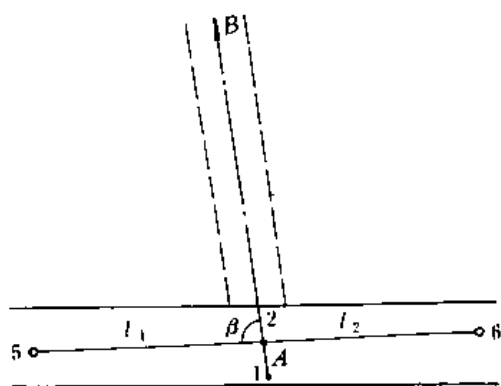


图1 巷道开切点标定

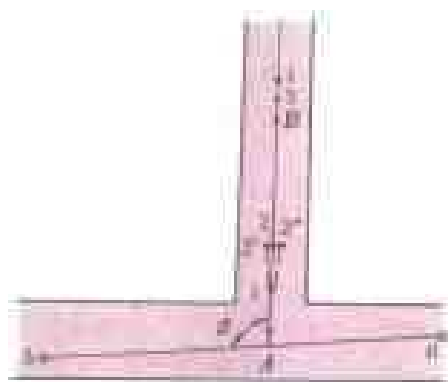


图2 中线标定

标出点2'和点2'',取中点2作为中线点,然后再标出1点。从中线点A、1、2挂垂球线用以指示巷道掘进的方向。随着巷道的掘进,为防止巷道偏,每隔一段距离延设一组中线点。在延设中线点的同时,测设经纬仪导线,以便检查和填图。

曲线巷道中线标定 井下巷道的弯道部分,都是用圆曲线连接的。曲线巷道的起点、终点、曲线半径和转角(曲线中心角)均在设计中给定。曲线巷道的中线,用分段的弦线来代替。标定方法有经纬仪弦线法和短弦法等。

(1) 经纬仪弦线法。如图3a,已知曲线始点A、终点B、曲线半径R、中心角 $\alpha$ 。按转折点尽量少和弦两端能通视的原则,将曲线 $n$ 等分,则标定要素:弦长 $l = 2R \sin \frac{\alpha}{2n}$ ,曲线起点和终点处的转角 $\beta_A = \beta_B = 180^\circ + \alpha/(2n)$ ,中间各弦交点处的转角 $\beta = 180^\circ + \alpha/n$ 。实地标定时,首先在A点按转角 $\beta_A$ 标定弦线A1方向。由于前方巷道尚未掘出,只能在A1弦线的反方向线上标定中线点b、c,则b、c、A三点组成一组中

线点,指示A1段巷道掘进的方向。当巷道掘进到1点后,根据A1方向和弦长 $l$ 定出1点,将经纬仪安置在1点,按转角 $\beta_1$ 标定出12段巷道的掘进方向。以下各段标定方法同上,直到终点B后转入下段直线巷道。

(2) 短弦法。其特点是弦比较短,可用线交会法定。如图3b,已知圆心角 $\alpha$ 、曲线半径R,设弦的个数为 $n$ ,则弦长 $l$ 和偏距 $d$ 可求。标定时,先标出A点,再由A点沿中线方向向后丈量距离 $2l$ 标出C点。以点A、C为圆心,分别以 $2l$ 和 $d$ 为半径,用线交会法定出A1点。A1A指示第一段弦的掘进方向。当巷道掘进到1点后,沿A1A方向由A点丈量弦长 $l$ 标出1点。然后再以1、A为圆心,分别以 $l$ 和 $d$ 为半径,用线交会法定出1'点。1'1指示第二段的掘进方向。以此

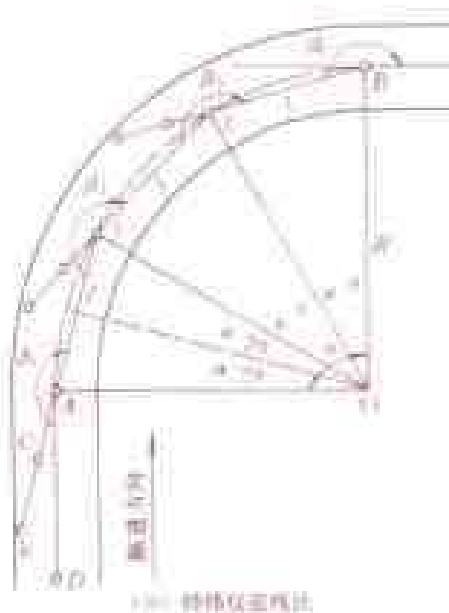


图3a 经纬仪弦线法

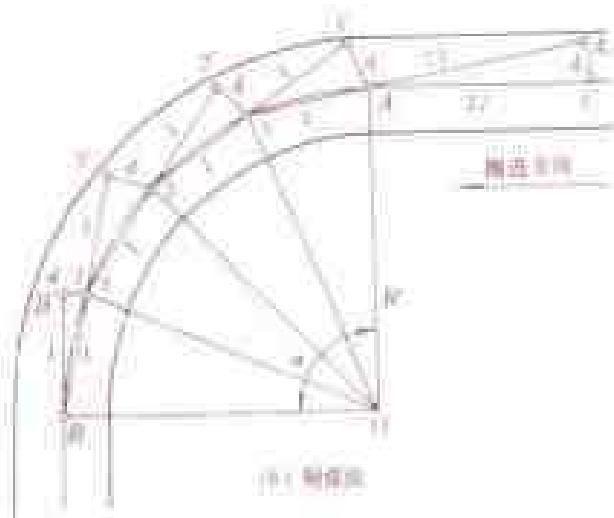


图3 曲线巷道中线标定

类推,直到终点B后转入直线巷道。

**巷道腰线标定** 标定掘进巷道在竖直面内的掘进方向,即标定巷道坡度或倾角,简称给腰线。腰线点通常是标记在巷道一帮或两帮,高出底板或轨面1m。腰线点成组设置,每组2~3个点,每隔一定距离设置一组。巷道腰线的标定,有平巷、平斜巷道连接处、倾斜巷道腰线标定等不同情况。

**平巷腰线标定** 多采用水准仪标定。也可用经纬仪标定腰线或用连通管、半圆仪标定腰线。这些都是先给出水平线,再丈量待设腰线点与已知腰线点间的水平距离,按设计坡度计算出高差,用小钢尺按高差标定新腰线点。半圆仪标定腰线仅用于次要巷道中。

**平斜巷道连接处腰线标定** 首先测设控制点以掌握竖曲线的起始位置。由于井下巷道的竖曲线半径一般不大,常不标设竖曲线,而是从变坡点起直接标定斜巷的腰线。如图4,根据平巷中控制点至变坡点A的距离标出A点。在变坡点处,斜巷腰线起点比平巷腰线点抬高 $\Delta h$ ,或者自变坡点向前(图4a)或向后(图4b)量取距离 $\Delta l$ ,然后由此处开始标设斜巷腰线。 $\Delta h$ 和 $\Delta l$ 由计算求得:

$$\Delta h = a(\sec\delta - 1), \quad \Delta l = \Delta h \cot\delta$$

**倾斜巷道腰线标定** 在主要斜巷中用经纬仪标定腰线,在一般斜巷中可用半圆仪标定腰线。经纬仪标定腰线法有中线点兼作腰线点标设法、伪倾角标设法以及用斜面仪标设等多种方法。

(1)中线点兼作腰线点标设法。在中线点的垂球线

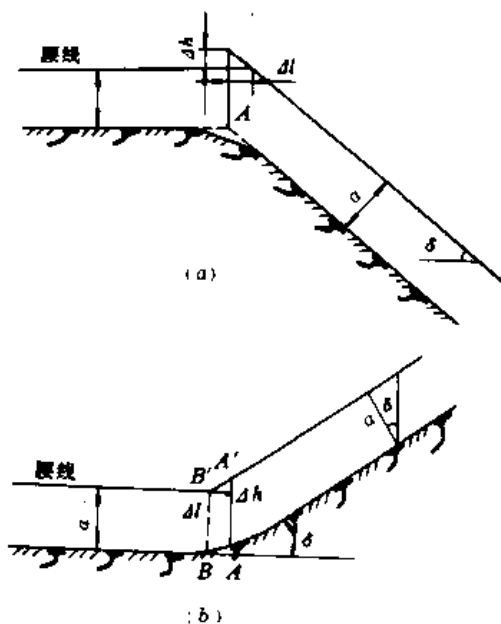


图4 平巷与斜巷连接处腰线标定

上作出腰线的标志,同时量取腰线标志到中线点的距离,以便随时根据中线点恢复腰线的位置。

(2)伪倾角标设法。原理如图5, O、A 为巷道中线方向上的腰线点; OA 的倾角为巷道的设计倾角 $\delta$ ; B 点为垂直于 OA 线在巷道帮上与 A 点同高的点; OB 线的倾角为 $\delta'$ (称伪倾角); OA、OB 两视线间的水平角为 $\beta$ ,则 $\tan\delta' = \tan\delta \cos\beta$ 。根据设计的倾角值和在现场测定的水平角值求出伪倾角后,便可直接在巷道帮上标出与 A 点同高的腰线点 B。

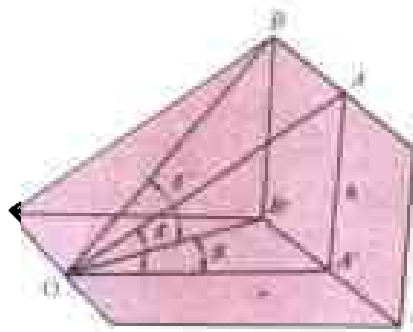


图5 伪倾角法原理图

(3)斜面仪标设腰线。在经纬仪主望远镜上部安装一个副望远镜,其转动轴垂直于主望远镜的视准轴和横轴,同时副望远镜视准轴垂直于本身的转动轴。当主望远镜视准轴置于巷道设计倾角的倾斜方向上并固定时,转动副望远镜,其视准轴扫过的就是一平行于腰线的倾斜面,根据该面与巷道两帮的交线就可标出斜巷的腰线。

**硐岔中腰线的标定** 硐岔的断面是变化的,并和曲线巷道相连接,在连接交叉处,对巷道的规格要求比较严格。图6为某硐岔平面图, EN 为直线巷道,另一

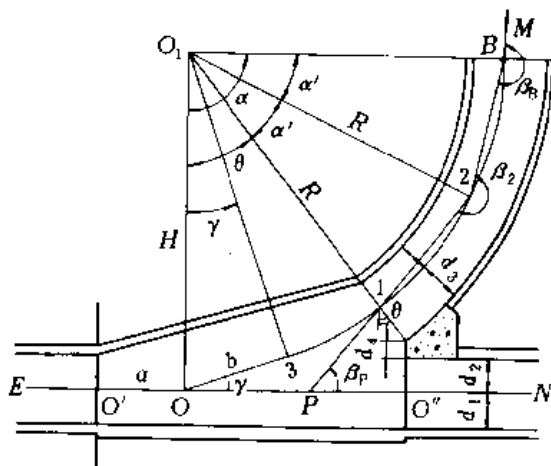


图6 硐岔平面图

巷道  $BM$  通过弯道与它相交。 $O$  点为道岔起点,它是直线轨道中线与弯道轨道的交点。 $O'$  点为道岔起点,巷道断面从这里开始变化。 $3$  点为道岔终点,也是弯道起点。 $O''$  点为柱墩处,巷道由此区分为两条。 $a$ 、 $b$  分别为道岔中心到道岔起点和道岔终点的距离。图中圆曲线的中心角为  $\alpha - \gamma$ ; 半径为  $R$ ; 道岔的辙叉角为  $\gamma$ ; 从直巷到柱墩所对的中心角为  $\theta$ 。

标定道岔中线前,首先检查设计图纸上的各种数据,并验算  $\theta$  角的正确性:

$$\theta = \arccos \frac{H - d_2 - d_4}{R + d_3}$$

式中  $H = R \cos \gamma + b \sin \gamma$ , 为曲线巷道中心到直线巷

道轨道中线间的距离。然后计算标定数据。若  $\alpha$  角较大,则先将曲线分段,将圆心角  $\alpha$  分为  $\theta$  角和  $\alpha'$  角。考虑到道岔处巷道较宽,故通常将 1-2 弦线延长到  $P$  点,将  $P$  点作为测量的转点,以简化标定工作。实地标定时,若巷道从  $E$  掘进到  $O'$ ,巷道断面开始增大,当继续掘进到  $P$  点后,于  $P$  点安置经纬仪根据角  $\beta_P$  标出  $P1$  方向。根据  $P1$  方向指示曲线巷道 1-2 弦的掘进。随着巷道的掘进,按曲线巷道中线标定法继续标定其他弦线的掘进方向。

掘进道岔时的腰线标定工作与一般平巷的标定方法相同。

(王明德)

## J

jixian celiang

**基线测量** (base measurement) 用基线尺直接丈量基线或三角网起始边长的工作。在高精度电磁波测距仪广泛用于距离测量之前,基线测量是测定三角网起始边长的基本方法。

三角测量中,推算三角网(锁)起始边长所依据的基本长度称为基线。在受条件限制直接丈量三角网的起始边有困难时,丈量一较短的基线,再通过基线网(一般为菱形,基线为其短对角线)依据观测得的水平角值和基线长度以及边角关系推算三角网起始边(基线网扩大边)的长度。

**基线尺** 精密丈量基线长度的工具。基线测量通常采用因瓦基线尺,由膨胀系数小于  $0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  的镍铁合金制成,一般为线状尺,长 24m,直径 1.65mm。每套线状尺通常备有四根主尺和一根 8m 或 4m 的补尺。补尺用于丈量不足一整尺的尺段。

每根线尺的两端有三棱分划尺(图 1),其中一个棱与线尺的中心轴一致。分划尺的刻度范围一般为 8cm,最小分划线间距为 1mm,每 1cm 有一注记。前后两分划尺的分划注记方向相同,两分划尺上同名分划之间的距离即为基线尺长度。全套基线尺备有重锤、拉力架、轴杆架(亦称标志架)等附件。

基线尺经出厂检定,带有尺长方程式。丈量基线长度的作业期前后必须对基线尺长进行检定。通过检定,确定基线尺的尺长改正数和膨胀系数。基线尺的膨胀

系数(又称温度系数)是在具有专门设备的检定室用电加热法测定,至少每三年测定一次。基线尺尺长检定由专门的计量单位在室内进行,也可在野外基线场上进行。基线场的长度一般为 600m。每根基线尺在作业开始前和结束后半个月內检定一次,取两次检定的平均值作为基线尺的长度。基线尺的尺长方程式为:

$$l_t = l_0 + \Delta l + \alpha(t - t_0) - \beta(t^2 - t_0^2) + \gamma(t^3 - t_0^3) \quad (1)$$

式中  $l_t$  为基线尺在温度  $t$  时的实际弦长;  $l_0$  为该尺的名义长度(24m);  $\Delta l$  为温度  $t_0$  时的整尺段的尺长改正数;  $t_0$  为基线尺检定时的标准温度,一般采用  $t_0 = 20^{\circ}\text{C}$ ;  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\gamma$  分别为基线尺的温度一次、二次和三次膨胀系数。由于  $\gamma$  值很小,一般可略去不计。

**基线丈量** 用因瓦基线尺丈量整置于基线两端点连线方向上各测段的距离,从而获得基线的长度。

(1) 在进行基线丈量之前,要清理、平整基线场地(测道),然后从基线的一个端点起沿基线方向每隔 200~300m 设一定线站。当基线较长时,可分测段丈量,其测段长一般为 0.5~1km,各测段点应埋设稳固的段点木桩或标石。

(2) 在定线站上,用经纬仪和光学投影器将轴杆架头按基线尺长度准确地安置在基线方向上,作为基线尺丈量的尺段标记,这项工作称为定线。

(3) 测定相邻轴杆头间的高差,用以将量得的倾斜距离归算为水平距离。这项工作称为轴杆头水准测量。

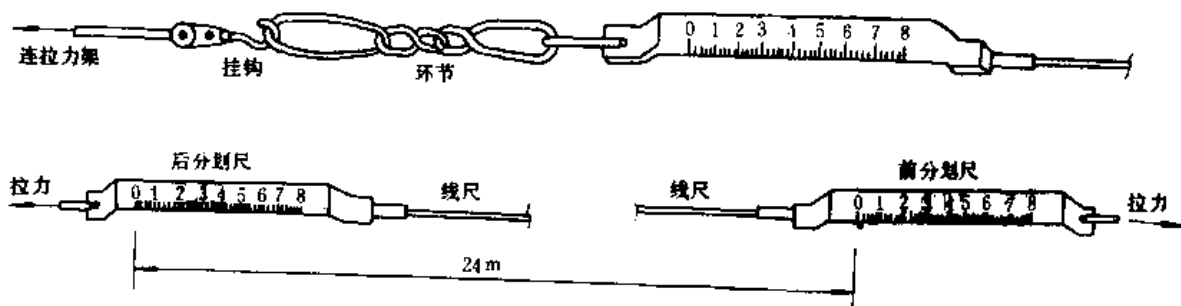


图 1 基线尺

在整好 8~10 个轴杆架之后,即可进行轴杆头水准测量。通常是在基线丈量前进行往测,丈量后进行返测。为了将沿轴杆头量得的长度归算到大地水准面或其他投影面上,需算得轴杆架头的平均高程。

(4)从基线端点开始逐一测定相邻两轴杆头间(尺段)的长度。图 2 所示为丈量第  $i$  个尺段,后轴杆头的编号为  $Z_{i-1}$ ,前轴杆头的编号为  $Z_i$ ,基线尺一端分划尺的零分划放在  $O$  处,后端读数为  $a$ ,前端读数为  $b$ ,尺段的温度为  $t$ ,则  $Z_{i-1}$  与  $Z_i$  之间第  $i$  个尺段的斜距为:  $l_i = l_0 + (b-a)$ 。式中  $l_0$  为基线尺在温度  $t$  时的实际弦长,可根据尺长方程式求得。不足一整尺段的剩余短跨距,用补尺丈量。在丈量基线过程中,每隔 10~15min 读记温度一次,并且在两次读定温度的相隔时间内,丈量不多于 5 个尺段。

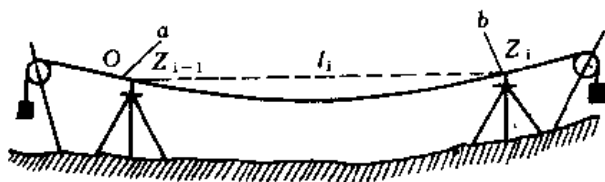


图 2 基线某尺段丈量示意图

丈量基线所采用基线尺的数目及进行往返丈量的测回数,根据对基线的精度要求来决定。丈量各测段时基线尺的组合,应使本段作为往测的基线尺在下一段作为返测。

**基线长度计算** 在进行计算之前,应对外业资料进行全面检查,然后进行成果整理和基线长度计算。基线长度由整尺的和剩余短跨距的丈量结果分别计算后相加求得。

**基线概长计算** 依每根基线尺整尺丈量结果进行。基线概长计算公式为:

$$l = 24n + n\Delta l + n\Delta t + \Sigma(b-a) \quad (2)$$

式中  $n$  为整尺段数(不含短跨距数);  $n\Delta l$  为尺长改正数;  $n\Delta t$  为温度改正数;  $\Sigma(b-a)$  为各尺段前后端分划尺读数差的总和。各尺单程基线长度的互差值符合规范要求,则各尺单程长度的平均值即为基线的概长。

**倾斜改正计算** 根据每一尺段的高差  $h$ ,按下式计算各尺段的倾斜改正  $\Delta h$ :

$$\Delta h = -\frac{h^2}{2l} - \frac{h^4}{8l^3} \quad (3)$$

式中  $l$  为尺段长度。

**剩余短跨距长度计算** 由于基线概长未包括短跨距长度,因此对于每一短跨距要单独计算尺长改正、温度改正和倾斜改正,改正后的长度为短跨距的实地长

度。

三项改正计算 基线长度还需加入悬链线不对称、分划线倾斜和重力变化等三项改正。这三项改正的数值都是很微小的。

(1)悬链线不对称改正。由于线尺的两端不等高,引起悬链线不对称,使得同一线尺在倾斜时悬链线弦长  $l_0'$  不等于水平时悬链线弦长  $l_0$ ,其差值称为悬链线不对称改正。其计算公式为:

$$\epsilon = l_0' - l_0 = \frac{w^2 l_0 h^3}{24 p^2} \quad (4)$$

式中  $w$  为每米基线尺重量(约为 0.0173kg);  $l_0$  为基线尺检定时的弦长;  $p$  为给线尺的拉力;  $h$  为尺段两端高差。对于 24m 线尺,用基线尺检定时的拉力,  $h$  取 m 为单位,基线全长的悬链线不对称改正数为:

$$\Delta p = 2.993 \times 10^{-3} \times \Sigma h^2 (\text{mm}) \quad (5)$$

(2)分划线倾斜改正。由于分划尺倾斜,分划尺倾角为  $\psi$ ,一个尺段的前后端分划尺读数差应为  $(b-a) \cos \psi$ 。故基线全长分划尺倾斜改正为:

$$\Delta \psi = \Sigma(b-a) \cos \psi - \Sigma(b-a) \quad (6)$$

式中  $(b-a)$  为基线尺前后端分划尺读数差。

(3)重力变化改正。基线尺检定和基线丈量一般均采用同一组重锤。由于两地纬度不同,重力加速度也不同。同一重锤在不同纬度具有不同的重量,将引起线尺长度的微小变化。基线全长重力变化改正为:

$$\Delta g = 7.02(g_2 - g_1)/g_1 \quad (7)$$

式中  $g_1$ 、 $g_2$  分别为基线检定场和基线场所在地的重力加速度。

**基线的实地长度计算** 其计算公式为:

$$\text{基线实地长度 } S' = \text{基线概长} + \text{倾斜改正} + \text{短跨距改正} + \text{三项改正}$$

**基线最终长度计算** 基线的实地长度是基线平均高程面上的水平长度。可根据需要将其归算至参考椭球面(或大地水准面、矿区平均高程面)和高斯投影面上。

(1)将基线实地长度归算至参考椭球面上的改正为:

$$\Delta S = -\frac{S'(H_m + h_m)}{R_s + H_m + h_m} \quad (8)$$

式中  $H_m$  为基线的平均高程;  $h_m$  为基线所在地大地水准面相对参考椭球面的高差;  $R_s$  为基线平均纬度处基线方向法截面的曲率半径。如果  $h_m$  为零,式(8)的  $\Delta S$  就成为将基线归算到参考椭球面上的改正数。将基线归算至矿区平均高程面上的改正为:

$$\Delta S_H = -H_m' S' / R_s \quad (9)$$

式中  $H_m'$  为基线的平均高程与矿区平均高程面的高差。



(2) 将基线归算至高斯投影平面上的改正为:

$$\Delta S_y = \frac{y_m^2}{2R_s^2} \quad (10)$$

式中  $y_m$  为基线两端点横坐标 ( $y$  坐标) 的平均值。

(李斐斐)

## jiguang zhixiangyi

**激光指向仪** (laser guider) 利用激光光束定向原理制成的指示井巷、隧道施工方向的仪器, 分为巷道指向仪 (参见彩图插页第 57 页 1) 和激光投点仪两种。激光指向仪由激光器、光学系统、电源和安装调整机构几个部分组成。

**激光器** 目前采用的多为氦氖气体激光器, 发射橙红色可见光束, 光波的波长为  $632.8\mu\text{m}$ , 发射角一般为  $3'$  左右。

**光学系统** 一个自准直望远镜系统, 其作用是将激光光束聚焦, 增加有效射程。

**电源** 因为氦氖气体激光器的启辉电压较高, 而正常工作电压较低, 通常采用磁饱和稳压和倍压整流系统。用于煤矿井下的激光指向仪供电电源, 有 127V 和 380V 两种。

**安装调整机构** 将激光器、光学系统组合在一起, 以便安装仪器和调整激光光束方向。井巷条件不同, 安装调整机构也不相同。煤矿井下或在有爆炸危险的环境使用的激光指向仪, 其电源和壳体必须满足防爆要求。激光指向仪的光束方向通常由经纬仪来标定。激光投点仪和巷道指向仪的区别仅在于安装调整激光光束方向的机构不同。因此, 光束方向的标定方法也不一样。

**激光投点仪光束方向铅垂度的检校** 在立井井口安置仪器, 利用仪器附设的长水准器 (格值  $\tau \leq 10''/2\text{mm}$ ) 整平, 使激光光束铅垂。在井下投点水平安放一块水平的平面接收板。打开激光光源启动器后, 井下人员在接收板上记下光点位置, 再将激光投点仪依次旋转  $90^\circ$ 、 $180^\circ$ 、 $270^\circ$ , 并在接收板上记下光点位置。然后, 找出投射光点的中点, 以此调整激光光束方向, 使其铅垂。为检验投点位置的可靠程度, 应重复上述操作, 直到满足要求。

利用氦氖气体激光器制成的指向仪器还有: 激光准直仪、激光经纬仪、激光水准仪和激光扫平仪等。

中国已研制成功采用半导体激光器制成的指向仪器, 与氦氖气体激光器比较, 具有体积小、重量轻、携带方便等优点。随着中国电子工业的发展, 半导体激光器将替代氦氖气体激光器, 作为指向仪器的光源。

(张鸣权)

## jihe dingxiang

**几何定向** (geometric orientation) 在立井中悬挂钢丝垂线由地面向井下传递平面坐标和方向的测量工作。定向工作分为三个部分: ①定向投点: 在井筒中自由悬挂钢丝垂线将地面点 (钢丝) 垂直投影到定向水平上; ②地面 (井上) 连接测量: 地面已知点与钢丝垂线连测, 以测定钢丝垂线的坐标和两垂线连线的坐标方位角; ③井下连接测量: 井下导线点与钢丝垂线进行连测, 根据钢丝垂线的坐标和两垂线连线的坐标方位角, 求出井下导线起始点的坐标和起始边的坐标方位角。

几何定向分一井定向和两井定向。

**一井定向** 在一个立井中自由悬挂两根钢丝垂线, 由地面向井下传递平面坐标和方向的测量工作。如图 1, 在井筒中自由悬挂两根钢丝垂线 A、B, 它代表一个铅垂面, 利用该面上的任一条直线都具有相同的方位角和垂线上任一点的平面坐标都相同的原理, 将地面平面坐标和方向传递到井下。一井定向工作, 除定向投点和井上、下连接测量外, 还需进行地面连测导线测量, 以求得地面连接测量的起算数据。

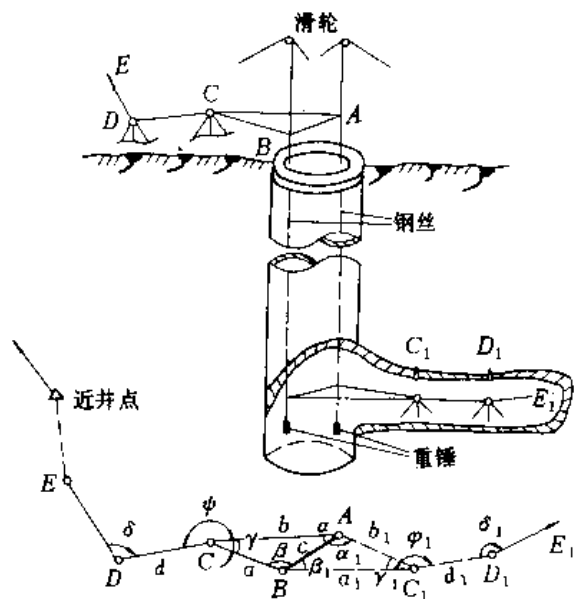


图 1 一井定向

**地面连测导线测量** 地面由近井点 (见近井点测量) 至连接点的导线称为地面连测导线。定向之前, 必须在地面井口附近设立作为定向时与钢丝垂线连接的点 C (井下为  $C_1$ ), 称为连接点。由近井点开始测设地面连测导线, 以求出连接点 C 的坐标及连接边 CD 的坐标方位角, 作为地面连接测量的起算数据。中国《煤矿测量规程》规定的精度要求为: 测角中误差不超过

$\pm 5''$ , 导线全长相对闭合差不超过  $1/10\,000$ 。对小煤矿, 可适当放宽要求。

**定向投点** 可用钢丝投点或激光铅垂仪投点。中国广泛采用钢丝投点。用钢丝投点时, 钢丝上端固定在地面, 下端(在定向水平上)悬挂重锤(垂球), 并将重锤放入水桶中, 以减少钢丝垂线的摆动。钢丝投点方法分为单重投点和多重投点。单重投点法, 是在投点的过程中, 垂球的重量保持不变。多重投点法则是在投点的过程中, 利用改变垂球的重量来确定地面钢丝垂线点在定向水平上的正确位置。单重投点法较之多重投点法作业简单, 效率高, 得到广泛应用。单重投点法又分为单重稳定投点和单重摆动投点两种。前一种是将垂球(重锤)放在水桶中, 使其静止, 在定向水平上就与静止的钢丝垂线进行连接测量。后一种是用经纬仪观测垂线的自由摆动以确定其稳定位置, 并加以固定, 在定向水平上就与此固定的钢丝垂线进行连接测量。垂线的摆幅很小能基本静止时, 采用稳定投点, 否则须采用摆动投点。

由于井筒内气流、滴水等的影响, 钢丝垂线在地面的位置投到定向水平后会发生偏离, 这种线量偏差称为投点误差。由投点误差引起的两垂线连线的方向误差, 叫做投向误差。投向误差  $\theta$  按下式计算:

$$\theta = \frac{e}{c} \rho'' \quad (1)$$

式中  $e$  为钢丝投点误差,  $m$ ;  $c$  为两垂线间的距离,  $m$ ;  $\rho'' = 206265''$  为每弧度的角秒数。

两垂线间的距离  $c$  受井筒直径的限制, 一般为  $4m$  左右, 因而由投点误差引起的投向误差是很大的, 成为一井定向误差的主要来源。为此, 减少投点误差的措施为: 定向时停止风机运转或增设风门, 以减少风速; 在井下采用防风套筒套着垂线, 以隔离风流对钢丝的作用; 采用直径小、抗拉强度高的钢丝, 适当加大重锤的重量, 并将重锤放入稳定液中。此外, 应尽量增大两垂线间的距离, 以减少投向误差。

**连接测量** 连接测量工作可采用三角形连接法、瞄直法和四边形法。

**三角形连接法** 以连接点和井筒中两垂线构成延伸三角形(图1的  $\triangle ABC$  和  $\triangle ABC_1$ ) 进行一井定向的连接测量方法, 是一种应用广泛的地面与井下连接测量方法。

(1) 三角形图形要求。从连接测量误差尽量小的观点出发,  $c$  边愈长,  $a/c$  (或  $a_1/c$ )、 $\gamma$  (或  $\gamma_1$ ) 角愈小的延伸三角形是最有利的连接图形。

(2) 施测。地面连接测量时, 在  $C$  点测量水平角  $\gamma$ ; 用钢尺精确丈量  $a$ 、 $b$ 、 $c$  三边长。井下连接测量

时, 同法测量  $\gamma_1$ 、 $\varphi_1$  角度和三角形三边长度。此外, 井上下还须分别测量  $\delta$ 、 $\delta_1$  角及  $d$ 、 $d_1$  边长。

(3) 计算。地面和井下垂线处不能直接测量的角度  $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\alpha_1$ 、 $\beta_1$  按正弦公式计算:

$$\left. \begin{aligned} \alpha &= \arcsin\left(\frac{a}{c} \sin \gamma\right) \\ \beta &= \arcsin\left(\frac{b}{c} \sin \gamma\right) \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

同理计算井下  $\alpha_1$ 、 $\beta_1$  角。因已知地面  $D$  点的坐标  $x_D$ 、 $y_D$  和  $DC$  边的坐标方位角  $\alpha_{DC}$ , 便可按导线  $D-C-A-B-C_1-D_1-E_1$  算出定向边的坐标方位角:

$$\alpha_{D_1E_1} = \alpha_{DC} + \varphi - \alpha + \beta_1 + \varphi_1 + \delta_1 \pm 5 \times 180^\circ \quad (3)$$

及  $D_1$  点的坐标:

$$\left. \begin{aligned} x_{D_1} &= x_D + \sum l_i \cos \alpha_i \\ y_{D_1} &= y_D + \sum l_i \sin \alpha_i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

完成传递平面坐标和方向的任务。

(4) 定向误差估算。为设计定向工作, 需对定向误差进行估算。考虑到投向误差  $\theta$ , 由式(3)按测量误差传播律得定向边的定向误差为:

$$m_{\alpha_{D_1E_1}} = \pm (m_{\alpha_{DC}}^2 + m_{\varphi}^2 + m_{\varphi_1}^2 + m_{\delta}^2 + m_{\delta_1}^2 + m_{\theta}^2)^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

$$m_{\alpha_{DC}} = \pm m_{\beta_1} \sqrt{n_{\pm}}$$

$$m_{\beta_1} = m_{\beta_F}$$

$$m_{\alpha} = \frac{a}{c} m_{\gamma}$$

$$m_{\beta_1} = \frac{b_1}{c} m_{\gamma_1}$$

式中  $m_{\beta_{\pm}}$ 、 $m_{\beta_F}$  分别为井上、下导线的测角误差;  $n_{\pm}$  为地面连测导线的角度个数;  $m_{\gamma}$ 、 $m_{\gamma_1}$  为测  $\gamma$ 、 $\gamma_1$  角的误差;  $m_{\varphi}$ 、 $m_{\varphi_1}$  为测  $\varphi$ 、 $\varphi_1$  角引起的连接误差。

**瞄直法** 又名穿线法。如图2, 用瞄直法将地面连接点  $C$  与井下连接点  $C_1$  分别设置在两垂线  $A$ 、 $B$  的延长线上, 即  $C-A-B-C_1$  位于同一坚直平面内。在  $C$  与  $C_1$  点安置经纬仪测出角度  $\varphi$ 、 $\varphi_1$ , 量出  $CA$ 、 $AB$  和  $BC_1$  的长度, 就能按导线  $D-C-C_1-D_1$  计算出井下  $C_1$  点的坐标和  $C_1D_1$  边的坐标方位角。

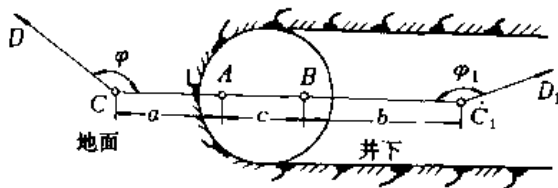


图2 瞄直法

**四边形连接法** 井下连接测量的一种方法。当受井口、井筒和井底车场的条件限制,必须与两垂线的大致垂直方向连接时,采用此法。如图3,井下连接点 $P_1$ 、 $P_2$ 与两垂线 $A$ 、 $B$ 构成四边形。根据两已知点 $A$ 、 $B$ 来确定两未知点 $P_1$ 、 $P_2$ 的平面坐标及其连线的坐标方位角。

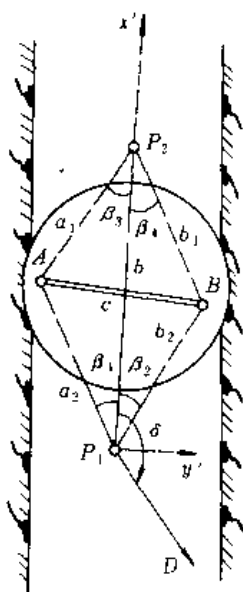


图3 四边形连接法

在 $P_1$ 、 $P_2$ 两点分别测出 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 及 $\beta_3$ 、 $\beta_4$ ,丈量 $P_1P_2$ 的边长 $b$ 及两垂线间距 $c$ 。根据所测角度和边长,可按正弦公式算出四边形各边长度 $a_1$ 、 $b_1$ 、 $a_2$ 、 $b_2$ 。连接点 $P_1$ 、 $P_2$ 的坐标按假定方位角法计算。设 $P_1$ 点为假定坐标系统的原点, $P_1P_2$ 为假定坐标轴 $x'$ ;按已知角度和边长计算垂线 $A$ 、 $B$ 在假定坐标系中的坐标 $x_A'$ 、 $y_A'$ 及 $x_B'$ 、 $y_B'$ ;按坐标反算出假定方位角:

$$\alpha'_{AB} = \arctg \frac{y_B' - y_A'}{x_B' - x_A'} \quad (6)$$

则 $P_1$ 、 $P_2$ 连线在地面坐标系中的坐标方位角为:

$$\alpha_{P_1P_2} = \alpha_{AB} - \alpha'_{AB}$$

由此可计算四边形各边的方位角,算出 $P_1$ 、 $P_2$ 点的坐标。

**两井定向** 在有井下巷道相连接的两个立井中各挂一根钢丝垂线由地面向井下传递平面坐标和方向的测量工作。如图4,在两个立井中各挂一根钢丝垂线 $A$ 、 $B$ ,由地面控制点 $K$ 敷设导线测定两垂线的坐标,在井下两垂线间敷设经纬仪导线,经计算将地面平面坐标及方向传递到井下。两井定向工作包括定向投点,井上、下连接测量及其计算。

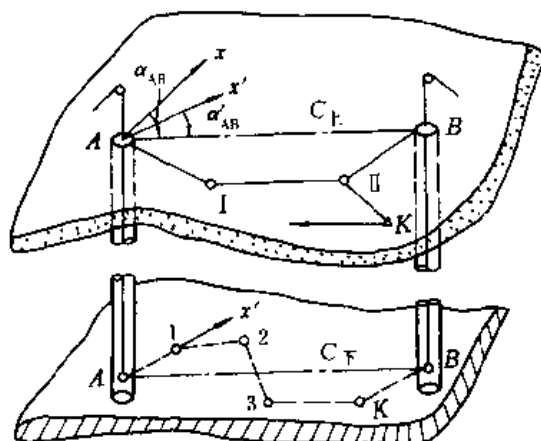


图4 两井定向

**定向投点** 在两个立井中各自由悬挂一根钢丝垂线。因两钢丝垂线间的距离较长,按式(1)计算的投向误差较小,一般采用单重稳定投点。

**地面连接测量** 地面连接测量的目的在于测定两钢丝垂线的坐标。由近井点 $K$ 向两垂线 $A$ 、 $B$ 测设连接导线 $K-I-I-A$ 及 $K-II-II-B$ ,算出两垂线的坐标 $x_A$ 、 $y_A$ 及 $x_B$ 、 $y_B$ 。按下式计算两垂线连线的坐标方位角 $\alpha_{AB}$ 及两垂线间的距离 $c_F$ :

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{AB} &= \arctg \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \\ c_F &= \sqrt{(y_B - y_A)^2 + (x_B - x_A)^2} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

或

$$c_F = \frac{y_B - y_A}{\sin \alpha_{AB}} = \frac{x_B - x_A}{\cos \alpha_{AB}}$$

当两井相距较远时,可从每个井的近井点分别向两井的垂线敷设导线来进行地面连接测量。

**井下连接测量** 在井下定向水平,沿两井间相通的巷道测设井下经纬仪导线 $A-1-2-3-4-B$ 。井下导线边的方位角可按假定坐标方位角法计算;假定井下 $A$ 点为坐标原点,即 $x_A' = y_A' = 0$ , $A-1$ 为假定坐标轴 $x'$ ,即 $\alpha_{A1} = 0^\circ 00' 00''$ ;按导线计算方法,算出垂线 $B$ 在假定坐标系中的坐标 $x_B'$ 、 $y_B'$ ;按式(8)计算 $AB$ 在假定坐标系中的坐标方位角 $\alpha'_{AB}$ 及其长度 $c_F'$ :

$$\left. \begin{aligned} \alpha'_{AB} &= \arctg \frac{y_B'}{x_B'} \\ c_F' &= \sqrt{y_B'^2 + x_B'^2} \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

则井下任一导线边在地面坐标系中的坐标方位角 $\alpha_i$ 为:

$$\alpha_i = \alpha_{AB} - \alpha'_{AB} + \alpha'_i \quad (9)$$

式中 $\alpha'_i$ 为井下导线第 $i$ 边在假定坐标系中的坐标方位角。



以垂线 A 的地面坐标为起算数据, 根据井下导线各边的坐标方位角和边长计算井下导线各点的坐标, 完成定向任务。

**测量和计算的检查** 用比较井上与井下算得的两垂线间距离  $c_{\text{上}}$  和  $c_{\text{下}}$  进行检查。由于两垂线的向地心性, 差值  $\Delta c$  为:

$$\Delta c = c_{\text{上}} - \left( c_{\text{下}} + \frac{H}{R} c \right) \quad (10)$$

$\Delta c$  不应超过  $\Delta c_{\text{允}}$ 。 $\Delta c_{\text{允}}$  可按下式计算:

$$\Delta c_{\text{允}} = 2 \sqrt{\frac{1}{\rho^2} \sum_A^B m_{\beta_i}^2 R_{\beta_i}^2 + \sum_A^B m_{\beta_i}^2 \cos^2 \varphi_i} \quad (11)$$

式中  $m_{\beta_i}$  为导线测角中误差;  $R_{\beta_i}$  为井下、地面 (不包括近井点到结点的) 连接导线各点到 AB 连线的垂直距离;  $m_{\beta_i}$ 、 $\varphi_i$  分别为井下、地面 (不包括近井点到结点的) 连接导线各边的量边误差及各边与 AB 连线的夹角;  $H$  为井筒深度;  $R$  为地球平均曲率半径。

两井定向与一井定向相比, 投点误差对定向精度的影响大大减小, 连接测量作业简单, 占用井筒时间少, 定向精度高。

(桑光灿)

## jianjing celiang

**建井测量** (shaft building survey) 在矿井建设期间, 地面和井巷工程施工阶段所进行的测量工作, 是矿山工程测量的重要组成部分。其实质是按工程设计将工程施工位置标定于实地, 包括施工控制测量、施工标定、竣工测量和变形观测。

**施工控制测量** 为了进行施工标定所进行的控制网测量。控制网分为平面控制网和高程控制网。平面控制网采用三边网、三角网或导线网。在矿井工业场地内常采用井筒十字中线 (见井筒十字中线标定) 和建筑方格网 (见工业场地建筑物施工测量) 作为基本控制。高程控制网用水准测量建立。

**施工标定** 把设计图上的建(构)筑物的位置标定于实地的测量工作。主要的标定对象是井巷及硐室、地面建(构)筑物、铁路、公路和管线等。基本标定工作有: 水平角标定、长度标定、直线标定、点位标定、高程点标定。

**水平角标定** 如图 1 所示, 已知实地 A、B 两点, 标定水平角  $\beta$ 。标定时在 A 点安置经纬仪, 分别以盘左和盘右位置拨  $\beta$  角, 标定出  $P_1$  和  $P_2$  两点, 取其中点  $P'$ , 则  $\angle BAP'$  为初步标定的水平角  $\beta'$ 。为了提高标定精度, 应精确测量  $\angle BAP'$ , 并量出  $AP' = S$ , 然后求出角度差  $\Delta\beta = \beta - \beta'$  和  $\epsilon = \frac{\Delta\beta}{\rho''} S$  值。在实地由  $P'$

起, 在垂直  $AP'$  的方向上量出  $\epsilon$  值, 得 P 点, 则  $\angle BAP$  为精确标定的水平角  $\beta$ 。

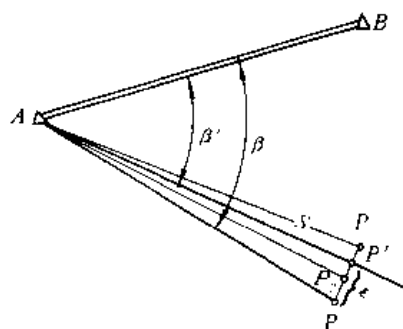


图 1 水平角标定

**长度标定** 如图 2 所示, 已知 A 点和 AC 方向, 标定长度  $L$ 。标定时沿 AC 方向量取长度  $L$  标出一点  $B'$ ,  $AB'$  为初步所标长度。为提高精度, 精确丈量  $AB' = L'$  (加入各项改正数), 计算  $d = L - L'$ , 按  $d$  值由  $B'$  点标出 B 点,  $AB$  为精确标定的长度  $L$ 。

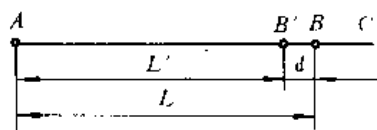


图 2 长度标定

**直线标定** A、B 是两固定点 (图 3), 内插法标定是在 A、B 之间标定若干点如 1、2、3、……; 外插法标定是在 AB 的延长线上标定若干点如 a、b、c、……。标定时, 在 A 点安置经纬仪照准 B 点视标进行。

**点位标定** 如图 4 所示, 已知 A、B 两点及待定点 C、D、P 的坐标, 在实地上标定 C、D、P 点。标定方法有极坐标法、角度交会法、线交会法和直角坐标法。

(1) 极坐标法。根据 A、B 点和 C 点坐标计算标定要素  $\beta_1$  和  $l_1$ , 由 A 点标定水平角  $\beta_1$  和长度  $l_1$ , 得点 C 的位置。

(2) 角度交会法。根据 A、B 和 D 的坐标计算标定要素  $\beta_2$  和  $\beta_3$ , 在 A 点和 B 点标定  $\beta_2$  和  $\beta_3$ , 两方向线交点是待定点 D 的位置。

(3) 线交会法。根据 A、B 和 D 的坐标计算标定

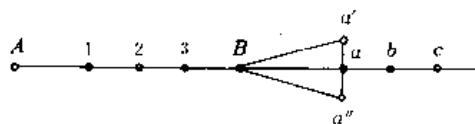


图 3 直线标定

要素  $l_2$ 、 $l_3$ ，以  $A$ 、 $B$  为圆心，以  $l_2$ 、 $l_3$  为半径的两弧交点为待定点  $D$  的位置。

(4) 直角坐标法。把  $AB$  作为轴，标定时沿  $AB$  量取  $a$  得  $P'$  点，在  $P'$  点作  $AB$  的垂线并量取  $b$  得待定点  $P$  的位置，其中  $a$ 、 $b$  为给定值。

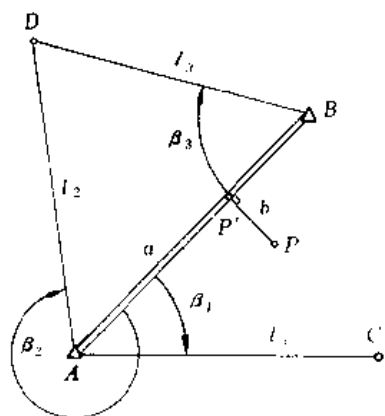


图4 点位标定

高程点标定 如图5所示，已知实地  $A$  点高程  $H_A$  和待定点  $P$  的高程  $H_P$ 。标定时在  $A$ 、 $P$  点间安置水准仪，后视  $A$  点水准尺，读取数  $a$ ；前视  $P$  点水准尺，并上下移动水准尺，当水准尺读数  $b = H_A + a - H_P$  时，水准尺零刻划处为待定点  $P$  的位置。

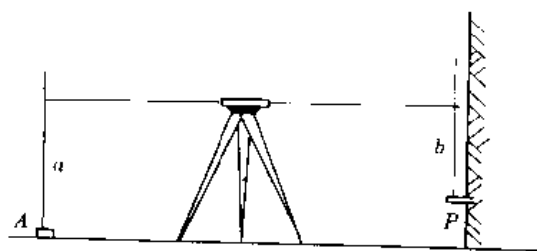


图5 高程点标定

竣工测量 工程建成后竣工验收中所作的测量工作，包括：立井井筒横断面检测，井筒井壁和罐道竖直性检测，大型机械主轴检测，测量主要建筑物角点坐标，测算管线中线点、转折点、交叉点坐标，测绘竣工现场地形图，编绘竣工总平面图，编制细部点的坐标和高程明细表。竣工验收资料是工程管理、维修和扩建的重要依据。

变形观测 包括施工期间建筑物基础和地基变形的测量；建筑物使用期间变形的测量。其主要内容有：沉降观测、位移观测、倾斜观测和裂缝观测等。

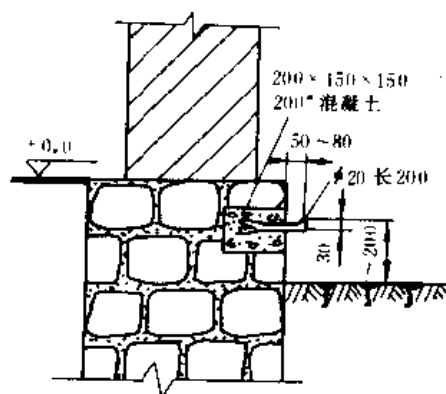
(田佩俊)

jianzhuwu chenxian celiang

**建筑物沉降测量** (building subsidence survey)

测定设置在建筑物及其地基上一组点在地下采煤影响下，一定时间段内所产生的移动、变形及数据分析和处理工作，内容包括下沉、倾斜、水平位移、变形等测量项目。其目的是监视地下开采对建筑物的影响，分析地表变形与建筑物变形的关系；了解建筑物的主要部分和构件的受力状态，分析使用的安全情况；检验建筑物的加固效果，研究减小建筑物损坏的合理开采技术措施。

建筑物下沉测量 通常采用重复水准测量方法。观测前要按建筑物的结构、型式、地质条件合理布设观测点。一般在每面墙上埋设三个测点，也叫墙壁点，其结构如图所示。与墙壁点相对应的地面上埋设土壤点，并在沉陷范围外的稳定地区埋设基准点，均按一定周期进行观测。某一观测点由不同日期测量结果求得的高程差，为观测点在此期间的下沉量。



墙壁观测点的设置

建筑物倾斜测量 测定建筑物由于地基沉降差异而产生的垂直偏差，即一线段两端点的下沉高差与此线段长度之比。高耸构筑物如：烟囱、水塔、井架只在其顶部或墙基设置观测点，用经纬仪投影法、垂线观测法等定期测定相对位置变化，也可直接观测顶部中心点相对于底部中心点的位移值，然后推算建(构)筑物的倾斜度。

建筑物水平变形测量 用经过比长的钢尺定期测定建筑物上两点间距离由于地基受采动影响而产生的变化量。某一线段由不同日期测量结果求得的线段长度差与该线段原长度之比为水平变形。其中线段伸长的称为拉伸变形，线段缩短的称为压缩变形。

裂缝观测 测量建筑物因基础有局部不均匀沉降而在墙体出现的裂缝。一般在裂缝两侧设置观测标志，

定期测量其位置和宽度变化,以取得裂缝的大小和走向等资料。近年来,开始应用的近景摄影测量方法,对于测定地基基础与建筑物沉降、建筑物倾斜、测求裂缝参数以及机械构件变形的检验等方面都有一定效果。

**应力测量** 对采取加固措施的建筑物,在加固构件内埋设应力(应变)传感元件,量测加固构件的受力情况,以便研究地表变形、建筑物变形与加固构件受力大小之间的关系,检验加固效果,分析研究加固构件的合理配置与配筋量等。

对采动建筑物加固构件的应力量测,目前常用的有差动电阻式钢筋计和钢弦式钢筋计。钢筋计的规格应与构件钢筋的直径一致,如差异过大将影响观测效果。钢筋计设置在构件应力最大和可能有最大变化处,钢筋计连接杆与构件钢筋的焊接必须牢固可靠,中心线保持一致。为便于观测,钢筋计的引出电缆应集中一处或几处,并尽量集中于集线箱内,以减少接线头的接触电阻对量测精度的影响。

在建筑物受采动影响前,对钢筋计进行首次观测作为原始数据。在地表移动的初始期和衰退期,每周量测一次,在活跃期每周量测二次。

**观测资料的整理和分析** 首先,将观测成果进行初步整理,再以时间或点距为横坐标,以累计移动、变形为纵坐标,绘制相应的过程曲线,以便了解移动、变形的幅度及趋势情况。其次,要对观测资料进行归纳和分析。通常采用回归分析方法,选择合适的拟合方程,再按最小二乘法与统计检验的原理求得回归方程,从而找出变形的规律。

(虞万波)

## jinjingdian celiang

**近井点测量** (near shaft control point survey) 在井口附近建立平面控制点的测量。目的是在矿井工业场地范围内为矿井测量建立平面控制基础。一般把这种平面控制点叫做近井点,是井口位置、井筒十字中线基点标定,以及矿井联系测量等项测量工作的平面坐标起算点。

在建立近井点的同时,还以四等水准测量的精度要求在井口附近建立两个高程基点。近井点也可作为高程基点。

**选点和埋石** 近井点一般设在便于观测、保存和不受开采影响的地方。许多矿井把近井点设在井口附近的厂房顶上。

为了减小近井点的点位误差对重要井巷工程测量的影响,多井口矿井的近井点宜统一规划、合理布置,使各近井点位于同一平面控制网中,并尽可能使相邻

井口的近井点构成网中的一条边或间隔的边数最少。

近井点的位置用标石固定。标石的埋设深度,在无冻土地区,以埋设坚固、点位能得到长期保存为准;在冻土地区,标石应埋在冻土线以下。为了防止损坏,对近井点要采取可靠的地面保护措施。

**测量方法** 近井点(网)一般是在矿区平面控制网的基础上,采用插点、插网(见三角测量)或敷设光电测距导线(见导线测量)等方法测设,属于专用的平面控制网。其测量等级是根据井田大小和主要巷道贯通工程的要求选定。

**精度要求** 近井点测量的精度应能满足各种采矿工程生产限差的要求。中国《煤矿测量规程》规定:近井点的精度,对于测设它的起算点来说,其点位中误差不得超过 $\pm 7\text{cm}$ ,其后视边方位角中误差不得超过 $\pm 10''$ 。这个精度指标,是根据两井间进行主要巷道贯通时,两近井点的相对误差及两近井点后视边相对的坐标方位角中误差对巷道贯通偏差的影响可以忽略不计的条件下规定的。

(王绍林)

## jinjing sheying celiang

**近景摄影测量** (close-range photogrammetry) 对近距离(300m以内)的非地形目标进行立体摄影,测定其状态和几何特征的技术。适用于不规则物体的外形、动态目标以及不可接触物体的测量。近景摄影测量是在近代地形摄影测量基础上发展起来的一个分支,不以测绘地形图为目的,故又称非地形摄影测量。

近景摄影测量在矿藏勘查和矿产开发等方面用来研究煤田地地质小构造,测定矿体变形,描述煤层顶底板挤压现象,测定煤层厚度、地质产状,进行岩性判别,露天矿采场地质摄影编录,大面积采掘量计算以及边坡测量等。在建筑方面可为古建筑、古遗址等历史文物的复制提供各类图件。在工业方面可用于汽车、舰船、飞机的外形设计,进行各类构筑物的变形观测以及大型机械部件的加工和装配质量检查等。在生物医学方面可用于躯体外形测量,配合X光立体摄影量测病灶的定位,面部或肢体的矫形,生物发育过程的记录等。

近景摄影测量所用的摄影机有量测象机、半量测象机和非量测象机三种:

(1)量测象机。单个量测象机,其基线与摄影物距可随意变动;立体量测象机,其基线固定,摄影物距较短,内方位元素已知,有定向与整平装置,物镜畸变差在微米级以内,适用于高精度测量。

(2)半量测象机。其承片框上有标准格网,内方位

元素未知,无水准器和定向装置,曝光瞬间外方位不可知。

(3)非量测象机。其承片框上无框标,无压平装置,畸变差较大,无水准器及定向装置,较轻便,可任意调焦,连续摄影或同步摄影。普通象机、电影摄影机、高速摄影机多属此类象机,适用于中、低等精度测量。生物医学多采用X光摄影机、全息摄影机、电子显微摄影机等。

利用摄影机,依不同摄影方式获取立体象对,按象点与相应目标点间的几何关系,可确定所测目标的空间位置与时空关系。

**布设摄影站** 其原则是在保证精度的前提下获取最有效的摄影覆盖。摄影站可设于地面、建筑物上或以脚手架、升降机、系留气球、低空飞行器为摄影平台。摄影站可布设为单站、双站和多站。单站是从一个站对上目标摄影一次或多次,适用于二维测量;双站是从摄影基线两端摄影,成立体象对,也可在目标移动一段距离或旋转某一角度前后,用单个摄影机摄影,获取立体象对,适用于复杂目标的三维测量;多站是在每个摄影站拍摄一张或多张象片,站与站的布设方向,要使摄影对被测目标构成多次覆盖,对摄站间隔与方位无具体要求。其摄影方式可根据被测目标的形状、大小、环境、所用摄影机的类别、内业测图仪器的性能等因素来确定。通常采用正直摄影与交向摄影(见地面摄影测量)。

**选择摄影面** 要使投影的度量性好、直观、作图简便、减少投影变形和保证数学精度。被测目标只有一个立面,应选用平行于该立面的坐标系平面作为投影面。被测目标为曲面或不规则的多立面,可选用多个相应的投影面。

**选择坐标系** 一般采用独立坐标系。根据需要可与其他坐标系进行坐标换算。

**布设象片控制点** 模拟法测图时,一个立体象对范围内,在无相对控制的情况下,需在被测目标四周布设3个控制点,对复杂被测目标应增加布点数量。多象对时,如重叠范围无明显点,则应布设标志点,以供象对连接。对小型目标可用活动控制系统;对平面型目标可采用已知长度或角度作为相对控制。解析法测图时,其控制点的数量应根据数据处理方法来确定。控制点的测量方法与地面摄影测量控制点的测量方法相同。

**测图** 分为模拟法和解析法两种。

(1)模拟法。多用量测象机拍摄的正直摄影象对在精密立体测图仪上测绘立面图、等值线图、平面图。

(2)解析法。根据象点与相应地面目标的几何关系,答解物方离散点的二维、三维坐标。要求象点的量

测精度高,数学模型严谨,对系统误差有补偿能力,对粗差可识别并定位,对摄影测量观测值与非摄影测量观测值具有联合平差的能力。该法应用范围广,能处理各类象机和不同摄影方式所摄取的象片。所用设备可以是立体坐标量测仪、电子计算机及相应软件所组合的测图系统,也可以是解析测图仪。具体方法有:①单站时间视差法:根据两次摄影组成的立体象对,在物方建立控制点基础上加入外方位元素进行解算;②多片空间后方交会或前方交会法:在共线条件方程式基础上解算6个外方位元素,然后用两片或多片进行交会,答解各未知点坐标;③共面条件方程式解法:多在每张象片控制点不足3个,但整个测区控制点数量足够时采用。在同名光线对对相交且共面的基础上,迭代求解相对定向元素,最后通过绝对定向公式答解物空间坐标;④光束法:以共线条件为基础,用少量控制点已知值和大量未知点观测值组成法方程式,经约化和迭代,求出坐标改正数矩阵,最后答解目标点的坐标,适用于设置人工标志控制点的高精度测量;⑤直接线性变换解法:适用于非量测象机所摄象对。要求控制点最低不得少于6个或8个,以12个为最佳,组成12个线性方程式,求得11个系数近似值,依次迭代,直至满足限差为止。还需求出待定点畸变差坐标改正值,逐点答解坐标值;⑥二维线性变换法:在立体象对范围内,至少需有4个物方控制点,适用于目标的二维变形测定。解析法的最终成果是一群点的空间坐标,构成目标的数学模型。根据需要从不同角度使用数学模型,可以借助计算机解算各种几何量如面积、体积、周长、运动目标的速度、重心、轨迹,并用相应的绘图仪绘制投影图、等值线图、断面图与不同视角的透视图。

(沈乃庄)

jingweiyi

**经纬仪** (theodolite) 测量水平角和垂直角的仪器。英国人西森(Sisson)约于1730年首先研制,成型后,用于英国大地测量。1904年,德国开始生产玻璃度盘经纬仪。1920年,瑞士H. 威特(H. Wild)等人制成世界上第一台Th1型光学经纬仪。随着电子技术的发展,60年代出现装有电子扫描度盘,在读数窗能自动显示水平度盘和垂直度盘读数的数字电子经纬仪。

经纬仪主要部件有望远镜、度盘、水准器、读数设备和基座等(图1)。

**原理** 经纬仪是根据测角原理设计的。为了测定在O点的水平角AOB(图2),必须在通过空间两方向线交点O的铅垂线上,水平地放置一个带有角度分划

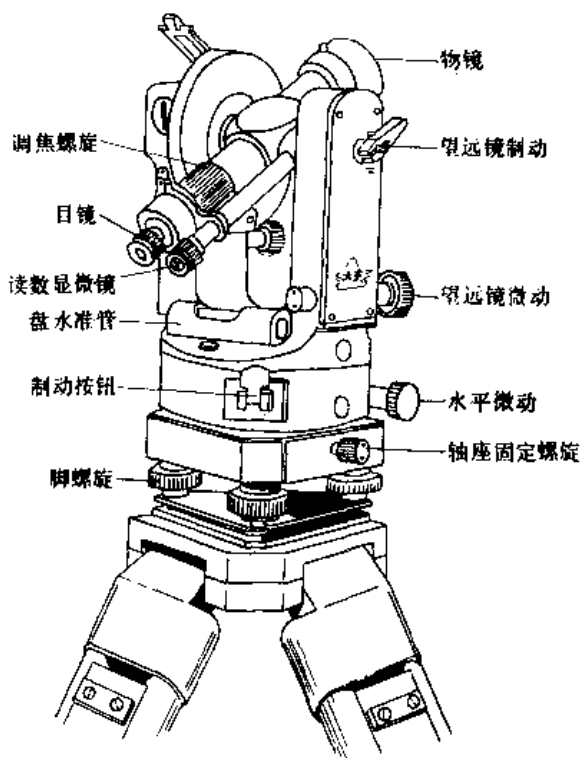


图1 DJ6级光学经纬仪

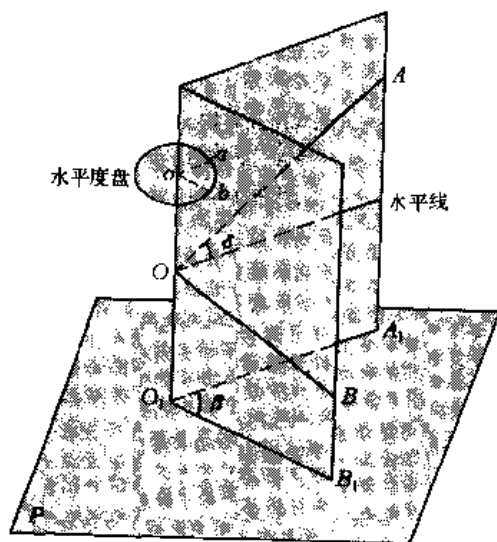


图2 测角原理

的水平度盘。图上竖直面  $AOA_1$  与水平度盘的交线得到读数  $a$ ，竖直面  $OBB_1$  与水平度盘的交线得到读数  $b$ 。 $b$  减  $a$  即为水平角  $A_1OB_1$  值  $\beta$ 。为了测定垂直角，竖放一个垂直度盘，在垂直度盘上读取视线  $OA$  的读数，即可读得目标方向的垂直角值  $\delta$ 。

**主要参数** 经纬仪按精度指标划分为若干等级。精度指标以野外一测回的水平方向中误差表示。中国1982年颁发的经纬仪系列标准 (GB3161—82) 将经纬仪分为 DJ07、DJ1、DJ2、DJ6 和 DJ30 五个等级。以 DJ2、DJ6 为例，一测回水平方向中误差分别为  $2''$  和  $6''$ ；望远镜放大倍数分别不小于 28 倍和 25 倍；照准部水准器角值分别为  $20''/2\text{mm}$  和  $30''/2\text{mm}$ ；垂直度盘指标补偿范围为  $\pm 2'$ ；水平度盘刻划直径不小于 90mm；垂直度盘刻划直径不小于 70mm；水平读数最小值分别为  $1''$  和  $60''$ 。

**类别** 经纬仪的种类很多，除按精度划分等级外，按读数设备分为游标经纬仪、光学经纬仪和电子经纬仪；按轴系结构又可分为复测经纬仪和方向经纬仪。随着现代光学和电子技术的发展以及测量实践对仪器的要求，有多种具有特殊功能的经纬仪，如适用于地下坑道作业的悬挂经纬仪；带有光学测距装置的视距经纬仪；可利用磁针定向的罗盘经纬仪；能测定真北方位角的陀螺经纬仪。随着科学技术的发展，除测角以外，经纬仪还增加了其他功能，如采用激光形成可见视轴，进行导向、定位和准直测量的激光经纬仪（参见彩图插页第 52 页 1）；进行地面摄影的摄影经纬仪；自动跟踪测量的电影经纬仪；自动测角和记录电子经纬仪；以及将电子经纬仪、测距装置、微处理机和记录器组合成单体整机的电子速测仪。

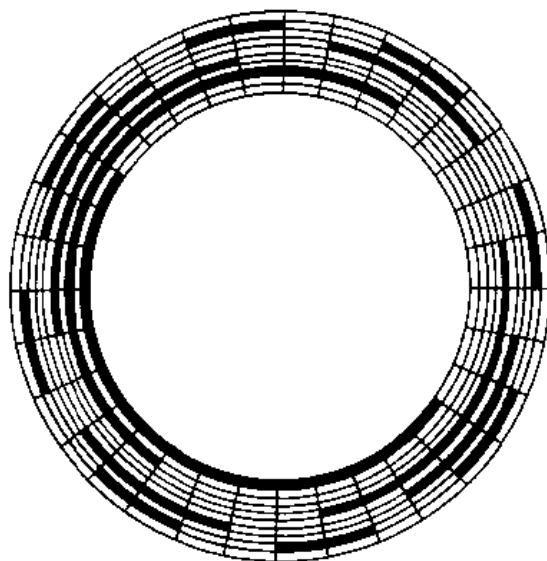
**游标经纬仪** 水平度盘、垂直度盘以及游标盘都由金属制成，利用游标尺读取度盘上不满一整分划的读数（参见彩图插页第 51 页 3）。在水平度盘和游标盘上，都设有制动和微动螺旋，使两个圆盘都能转动，以便用复测法（见水平角测量）观测水平角，因此游标经纬仪属于复测经纬仪。

**光学经纬仪** 水平度盘和垂直度盘均用光学玻璃制成。读数设备由比较复杂的光学系统组成（参见彩图插页第 51 页 1）。通过读数系统，把两个度盘的分划影像或度盘对径分划影像呈现在同一读数显微镜内。其测角设备的测微方式有显微带尺光学测微器，单玻璃平板光学测微器和符合读数光学测微器等。光学经纬仪的读数显微镜就在望远镜的目镜旁边，便于观测者读数。近年光学经纬仪的光学系统和机械结构有很大改进，例如采用正象望远镜；快调焦、慢调焦机构；同轴制动微动机构；度盘读数数字化；用带有分划尺的读数显微镜；两个度盘影像呈现不同颜色，粗、精配置度盘机构以及竖盘指标自动归零装置等。

**电子经纬仪** 测角设备采用了编码度盘、光栅度盘、电栅度盘或记时测角度盘，实现了电子数字化自动测角（参见彩图插页第 51 页 2）。



(1) 编码度盘是刻有编码的圆形玻璃度盘。编码图形是由一组排列在度盘上具有相邻的透明区和不透明区的同心圆所组成。在每一圈码道的一边安放光源, 另一边装有硅光电池或光电二极管。光源发射的光线, 在透明区光线可通过, 被光电二极管接收, 有电流产生为“1”; 在不透明区光线被遮住, 无电流产生为“0”。于是, 观测角度就能够通过所有码道上的读数头测量, 以二进制形式输入微处理机处理后用十进制数字输出。由于采用编码图形形式不同, 分为二进制码、循环码(格雷码)和矩阵码。图3是五圈码道(五位)的循环码图案及其展开图。二进制码和循环码的码道数等于输出二进制的位数, 位数越高, 码道的圈数就越多, 码道上排列的光电二极管就越多, 但这将受到电子经纬仪外形尺寸的限制。为了克服这一缺点, 采用测微装置来提高测角系统的分辨率。



(a) 五圈码道图

(2) 光栅度盘是在玻璃度盘表面上刻制许多均匀分布的透明和不透明的等宽度间隔的栅线的圆分度元件。电子经纬仪上用的光栅度盘的栅线都是辐射状的直线。当两块光栅度盘面对面叠合, 并使它们的栅线有微小交角时, 就可以看到明暗相间的粗条纹, 称为莫尔条纹。当光栅相对于固定光栅转动时, 莫尔条纹沿着角平分线由里向外移动, 莫尔条纹通过某参考点的数目和速度与光栅线通过该点的数目和速度相应。因此, 测量莫尔条纹移过的条纹数目即可知道光栅的移动距离(转角)。光栅度盘实际上是一个增量编码器, 它也采用测微装置来提高测角系统的分辨率。

(3) 电栅度盘是一种用于测量角度位移的传感器, 利用两个平面绕组的互感随角度位移而变化的原理制造的。它不需要光学系统, 结构简单。它具有纯正弦交流工作状态, 可以应用成熟的测相技术进行高倍数电子细分。

(4) 计时测角度盘是通过测量两个“时间”标志的间隔来测量角度。在计时测角装置内, 有一个恒速旋转系统和一个测量转角 $\alpha$ 所需时间 $t$ 的测时系统。恒速旋转系统由石英振荡器分频控制的同步电机驱动, 测时系统也用石英振荡器分频获得时间基准。

**检验与校正** 为了保证测量成果的可靠性, 作业前必须对经纬仪进行检验与校正。仪器检验是查明仪器部件的性能和质量, 以及部件间的几何关系是否得到满足; 仪器校正是使仪器各部件之间的几何关系正确。

对经纬仪各轴间相互关系进行检校之前, 用目视方法对仪器进行如下项目的检查: 查看零部件、紧固螺丝及校正螺丝有无缺失、损坏和松动; 水准器有无破裂、松动、气泡扩大及格线颜色脱落; 安平、制动、微

| 十进制 | 循环码 |   |   |   |   | 码道展开 |
|-----|-----|---|---|---|---|------|
| 0   | 0   | 0 | 0 | 0 | 0 |      |
| 1   | 0   | 0 | 0 | 0 | 1 |      |
| 2   | 0   | 0 | 0 | 1 | 1 |      |
| 3   | 0   | 0 | 0 | 1 | 0 |      |
| 4   | 0   | 0 | 1 | 1 | 0 |      |
| 5   | 0   | 0 | 1 | 1 | 1 |      |
| 6   | 0   | 0 | 1 | 0 | 1 |      |
| 7   | 0   | 0 | 1 | 0 | 0 |      |
| 8   | 0   | 1 | 1 | 0 | 0 |      |
| 9   | 0   | 1 | 1 | 0 | 1 |      |
| 10  | 0   | 1 | 1 | 1 | 1 |      |
| 11  | 0   | 1 | 1 | 1 | 0 |      |
| 12  | 0   | 1 | 0 | 1 | 0 |      |
| 13  | 0   | 1 | 0 | 1 | 1 |      |
| 14  | 0   | 1 | 0 | 0 | 1 |      |
| 15  | 0   | 1 | 0 | 0 | 0 |      |
| 16  | 1   | 1 | 0 | 0 | 0 |      |
| 17  | 1   | 1 | 0 | 0 | 1 |      |
| 18  | 1   | 1 | 0 | 1 | 1 |      |
| 19  | 1   | 1 | 0 | 1 | 0 |      |
| 20  | 1   | 1 | 1 | 1 | 0 |      |
| 21  | 1   | 1 | 1 | 1 | 1 |      |
| 22  | 1   | 1 | 1 | 0 | 1 |      |
| 23  | 1   | 1 | 1 | 0 | 0 |      |
| 24  | 1   | 0 | 1 | 0 | 0 |      |
| 25  | 1   | 0 | 1 | 0 | 1 |      |
| 26  | 1   | 0 | 1 | 1 | 1 |      |
| 27  | 1   | 0 | 1 | 1 | 0 |      |
| 28  | 1   | 0 | 0 | 1 | 0 |      |
| 29  | 1   | 0 | 0 | 1 | 1 |      |
| 30  | 1   | 0 | 0 | 0 | 1 |      |
| 31  | 1   | 0 | 0 | 0 | 0 |      |

(b) 五圈码道展开图

图3 五圈码道(五位)的循环码图案及其展开图

动螺旋、竖轴横轴转动以及目镜、调焦和测微轮的运转是否均匀顺滑;望远镜视场亮度是否均匀,成象是否清晰,物镜、目镜及光学零件有无霉污、划痕和脱胶情况;读数显微镜视场亮度是否均匀,成象是否清晰,读数窗有无水气、发霉、脱胶;读数窗位置、度盘及测微器的格线有无偏斜;光学对中有无污点、霉斑和调焦有无晃动,三脚架是否与仪器配套,架头与架腿连接是否牢固;各螺旋是否损坏;仪器附件是否齐全完好。

经纬仪几何关系的检验与校正主要有以下几项:

**照准部水准管轴垂直于竖轴的检校** 仪器粗略整平后,照准部平行于任意两个脚螺旋方向,调整脚螺旋,使气泡居中。转动照准部 $180^\circ$ ,若气泡偏离中央超过 $1/2$ 格,说明照准部与仪器竖轴不垂直,必须校正。此时,调整水准器校正螺旋,使气泡向中央移动偏离量的一半。上述校正过程需反复进行,直到符合要求。

**望远镜十字丝板竖丝铅垂的检校** 在距仪器 $5\sim 10\text{m}$ 处,用细线悬挂一垂球,并使之稳定。整平仪器后,用十字丝竖丝瞄准垂球线,观测竖丝是否与垂线重合。若不重合,则说明竖丝倾斜,必须校正。另一方法是望远镜大致整平,用十字丝竖丝上端对准一目标点,固定照准部。旋转望远镜微动螺旋,观察目标是否始终在竖丝上。如果不在竖丝上,则须校正。校正时,直接旋下十字丝校正螺丝护罩或将目镜筒取下,进行校正。

**望远镜视准轴垂直于横轴的校正** 安置、整平经纬仪,盘左、盘右两次瞄准远处与仪器约在同高度的目标点,读取水平度盘读数 $A_1$ 和 $A_2$ 。若此两读数之差不等于 $180^\circ$ ,说明视准轴不垂直于横轴。其差值为照准差的2倍,通称二倍照准差,简称 $2C$ ,即 $2C = A_1 - A_2 \pm 180^\circ$ 。如果 $2C$ 超限,应校正十字丝板位置。校正时,先求出正确读数:

$$A = \frac{A_1 + A_2 \pm 180^\circ}{2}$$

旋转照准部微动螺旋,使度盘读数为 $A$ 值,然后校正十字丝,使十字丝中心与目标点重合。这种方法在每次读数中包含有照准部偏心 and 度盘偏心差的影响,故对在度盘一个位置读数的经纬仪不宜采用,可采用室外标尺法或室内平行光管法校正。

**望远镜横轴垂直于竖轴的校正** 在距一高建筑物约 $20\text{m}$ 处安置经纬仪,选择一个仰角不小于 $30^\circ$ 的目标点 $A$ ,以盘左瞄准 $A$ 点,固定照准部;向下转动望远镜,瞄准 $A$ 点下方与仪器等高度的一根横置标尺,读数为 $M_1$ 。盘右再瞄准 $A$ 点,固定照准部,向下转动望远镜在标尺上读数为 $M_2$ ,若 $M_1$ 与 $M_2$ 两点重合,说

明横轴垂直于竖轴,反之则应校正。校正时,计算标尺读数的平均值:

$$M = \frac{M_1 + M_2}{2}$$

旋转照准部微动螺旋,使望远镜十字丝中心对准标尺 $M$ 点;纵转望远镜,仰视 $A$ 点,此时十字中心偏离 $A$ 点,调整仪器横轴校正螺旋,使十字中心对准 $A$ 点。反复校正,至符合要求为止。

**竖盘指标差的校正** 当望远镜视准轴水平时,竖盘的指标应归于零位。不为零位的值即为竖盘指标差。校正时,整平仪器,用盘左、盘右位置分别观测同一目标,使竖盘水准器居中,读得竖盘读数分别为 $L$ 和 $R$ 。若 $L+R$ 不等于 $180^\circ$ ,说明竖盘存在指标差(对于DJ2、DJ6仪器指标差计算公式为: $i = (L + R - 360^\circ)/2$ )。校正时,在倒镜瞄准目标位置不变情况下,计算倒镜的正确读数为 $R-i$ ,旋转竖盘水准器螺旋,使竖盘读数为 $R-i$ 。此时,气泡偏离中心位置,拨动水准器校正螺丝,使气泡居中。反复校正,到符合要求为止。

**光学对中器的检校** 是使光学对中器的视准轴与仪器的竖轴重合。光学对中器安装位置有两种情况:一是安装在照准部上,可随照准部一同旋转;另一种是安置在仪器基座上。检校前一种情况的光学对中器时,仪器整平后,在三脚架下平放一贴有白纸的平板,按光学对中器中心在平板上标出一点;旋转照准部 $180^\circ$ ,同法标出另一点。若两点不重合则须校正。若两点重合,应变更仪器至平板的距离,按上述方法再进行检验,若两点仍重合,则表示光学对中器位置正确,否则须校正。检验光学对中器安装在仪器基座上的经纬仪(如威尔特T2仪器)时,将仪器横卧在稳固的桌子边缘,固定照准部,基座可绕轴旋转。在距仪器 $1\sim 2\text{m}$ 的墙上置一白纸,按对点中心标出一点,旋转基座 $180^\circ$ 再标出一点,不重合时需校正。校正时,调整光学对中器目镜管的螺丝,使光学对中器中心对准两点连线的中点,直到照准部(或基座)转动到任何位置都能观察到测点象始终落在分划圈的中心为止。

**镜上中心的检校** 望远镜水平时,镜上中心应与仪器竖轴重合。检校时,在室内挂一垂球,在其下安置整平仪器。望远镜水平时,精确地将镜上中心 $A$ 和垂球尖对准,慢慢旋转照准部,观察镜上中心是否偏离垂球尖。若镜上中心始终不偏离,表示镜上中心位置正确,否则须校正。校正方法是将镜上中心 $A$ 对准垂球尖,转动 $180^\circ$ ,此时垂球尖对准 $A'$ ,标出 $AA'$ 中点 $C$ 。移动仪器使 $C$ 点对准垂球尖,再缓慢转动照准部,若 $C$ 点始终不偏离垂球尖,即可在 $C$ 点作出固定标记,作

为新的镜上中心。对于有可调镜上中心结构的经纬仪,则可以调整镜上中心螺丝,使镜上中心对准垂球尖。

(王明忠)

# jingdi chechang shigong celiang

## 井底车场施工测量 (construction survey for shaft bottom)

根据井底车场设计图和有关资料标定巷道和硐室的测量工作。井底车场具有弯道多、硐岔多、巷道断面变化大、连接硐室多、巷道坡度变化大、施工精度要求严格等特点。为了保证井底车场严格地按设计施工,施工前应根据设计图进行井底车场导线设计、巷道高程和坡度检核,从而检查设计图上给定数据的正确性,并取得施工标定的数据。

井底车场导线设计 在井底车场设计图上选择导线点,确定边长和水平角,计算角度闭合差和坐标增量闭合差并进行调整,然后计算设计导线点的坐标。

(1) 选定导线点(图1)。一般以副井中心为起点,沿主要轨道中线选定。圆曲线起点、终点、圆心点、道岔的岔心点及重要硐室中心点等均应选为导线点,并构成闭合导线。

(2) 设计导线的边长和水平角。由设计图直接确定,然后计算导线角度闭合差。如果闭合差不为零,应修改设计。

(3) 计算坐标增量及其闭合差。按井筒中心 $O$ 为坐标原点、井筒十字中线为坐标轴的假定坐标系或按统一坐标系计算。当坐标闭合差较大时,应由设计部门修改;若坐标相对闭合差小于 $1/2\ 000$ 时,可进行调整,使闭合差为零。

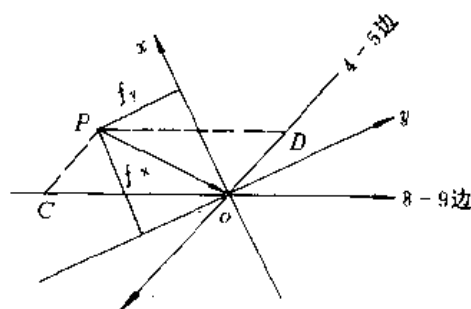


图2 矢量图解法

(4) 调整坐标闭合差。常用方法有矢量图解法和解析法。①矢量图解法(图2)。按大比例尺沿坐标轴 $x$ 与 $y$ 量取闭合差 $f_x$ 与 $f_y$ ,得 $P$ 点, $OP$ 是导线的线量闭合差 $f$ 。再将 $OP$ 分解投影到选择的两条不平行的导线边如8-9和4-5上,得两条边的改正数 $CO$ 和 $DO$ ,调整后 $f_x=0$ , $f_y=0$ 。②解析法。选择两条不平行的导线边 $ij$ 和 $mn$ ,用下式求出边长改正数 $v_{ij}$ 和 $v_{mn}$ ,消除坐标闭合差 $f_x$ 和 $f_y$ 。

$$v_{ij}\cos\alpha_{ij} + v_{mn}\cos\alpha_{mn} + f_x = 0$$

$$v_{ij}\sin\alpha_{ij} + v_{mn}\sin\alpha_{mn} + f_y = 0$$

式中 $\alpha_{ij}$ 、 $\alpha_{mn}$ 分别为导线边 $ij$ 、 $mn$ 的方位角。

井底车场热面坡度核算 按设计坡度和水平距离计算井底车场轨道各段高差和闭合环高程闭合差。如果不闭合,应进行调整或修改设计。

施工测量 根据井下测量控制点(导线点、水准点)和导线设计求得的标定要素,按设计图在实地标定井底车场巷道、硐室和硐岔的位置,标出指示巷道掘进

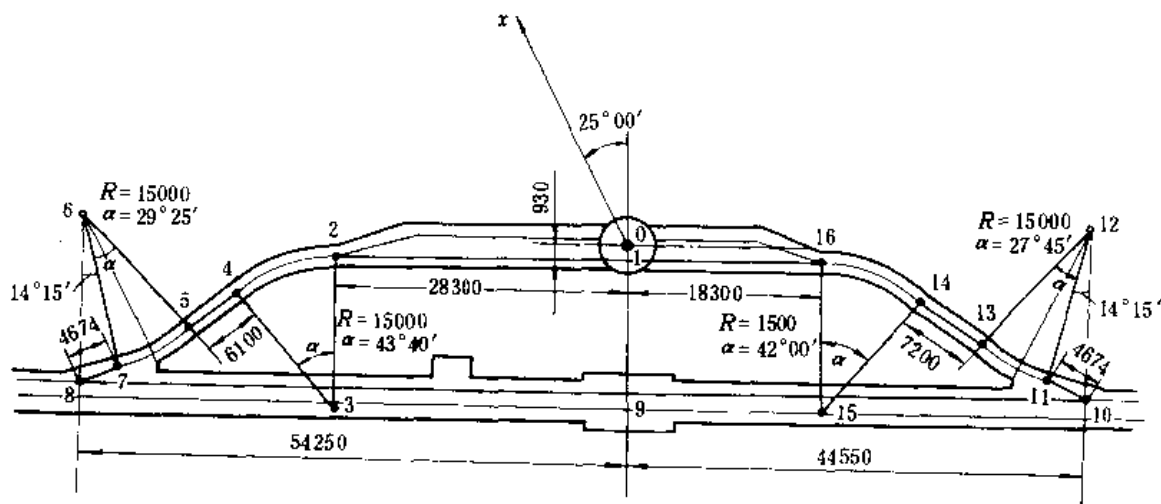


图1 井底车场导线设计图

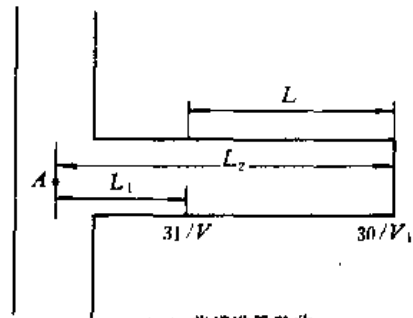
的中、腰线（见巷道中腰线标定），并检查巷道、硐室等的规格、质量。

（田佩俊）

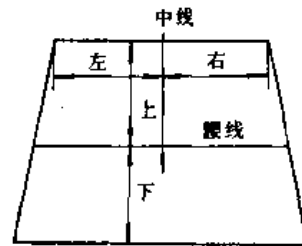
jinghang yanshou celiang

**井巷验收测量** (footage measurement of shaft and roadway) 在井筒、巷道、硐室等井巷工程施工中及竣工后，为了给工程验收提供实测资料而定期进行的测量工作。其目的在于检查井巷工程施工进度、掘砌方向和坡度、工程规格质量及竣工后的实际状况，是否符合工程设计和有关井巷工程施工质量标准的要求。

**巷道与硐室施工验收测量** 掘砌进尺是用卷尺从固定测点或靠近掘砌工作面的专门点进行量测的。某一时期内的进尺是期初和期末工作面距固定点距离的差值，如图 1a。掘砌方向 and 支护规格质量的检查是根据中线和腰线进行的，如图 1b。此外，还对井底车场和主要运输大巷进行运输线路纵断面测量和水沟坡度检查，并绘制主要运输线路纵断面图，如图 2。



(a) 巷道进尺验收



(b) 巷道规格验收

图 1 巷道验收测量

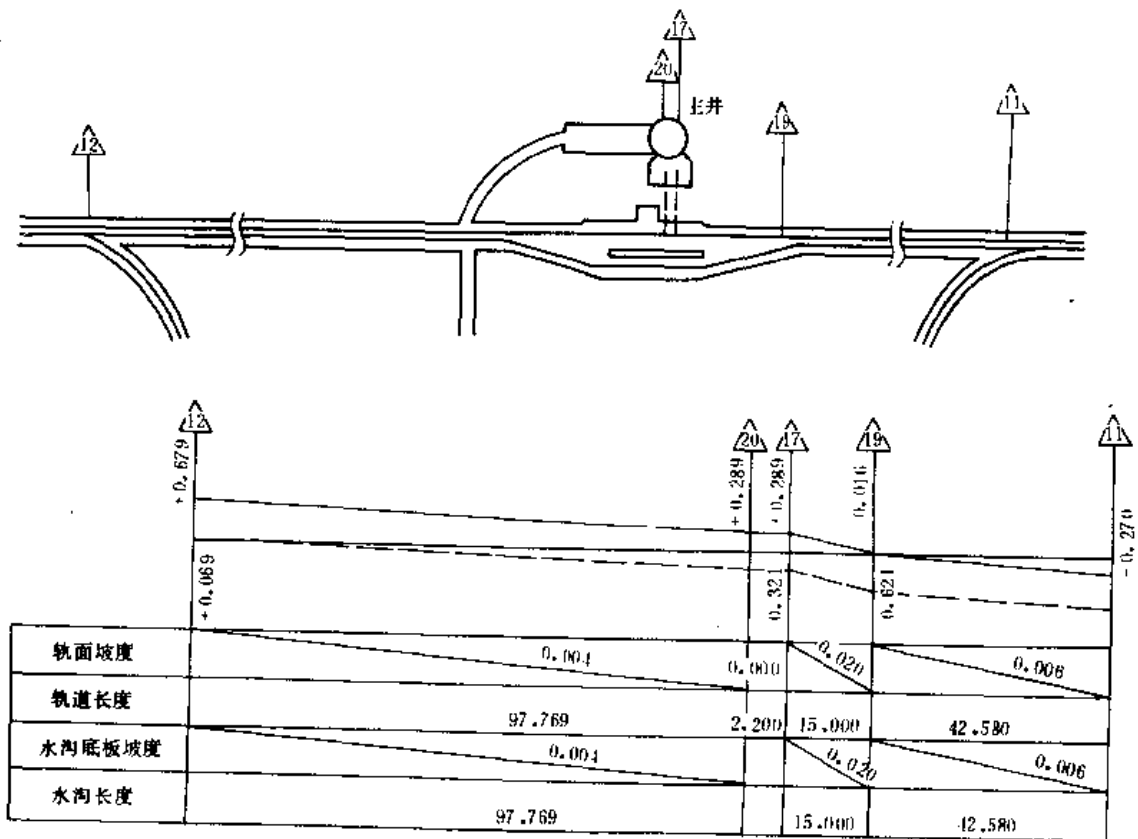


图 2 主要运输线路纵断面图

立井井筒施工验收测量 进度的验收于旬末、月末进行。可用钢尺法和钢丝法。两者都是在井筒掘砌过程中,由井口封口盘上的固定点处下放钢尺或钢丝丈量掘砌进度。为减少下放钢尺或钢丝的次数,当砌筑第一个壁座或井壁砌筑到适当深度时,在其上设置高程点,从此点起始丈量井筒掘砌进尺。要经常从井口下放钢尺或钢丝进行检查,防止误差积累。当井筒掘砌到设计深度时,及时测定井底高程,作为以后矿井延深的根据。无论钢尺法或钢丝法,操作方法和计算方法基本同于导入高程测量。井筒断面和掘砌方向的检查,都是根据井筒中心垂线或井中激光点进行的。

井筒竣工后,井壁垂直程度的检查,主要是检查提升容器突出部分离开井壁的距离是否符合规程要求。通常是在井筒掘砌过程中下放若干垂线,测定垂线位置,并每隔一定深度丈量垂线到井壁的水平距离。根据丈量的成果,绘制通过井筒中心的竖直断面图,并附井筒水平断面图。还要检查井筒深度以及与井筒连接的各项水平或倾斜巷道口的标高和方向。

立井井筒装备施工验收测量 立井井筒装备竣工后,主要检查罐道梁和罐道的位置及罐道的垂直度。井塔和井架施工竣工后提出实测竣工图。

(王明德)

## jingjia shigong celiang

**井架施工测量** (construction survey for headframe) 井架安装施工中所进行的标定和检查测量。有临时井架施工测量和永久井架施工测量两种,都是依据井筒十字中线基点和井口高程基点,按照井架施工设计图,标定施工位置并进行检查测量。

**临时井架施工测量** 主要内容有井架基础标定和井架组立时的检查测量。

**井架基础标定** 根据井筒中心和十字中线基点,以及从设计图上取得的标定要素,在井盖上标出井架中心 $O'$ (图1);置仪器于 $O'$ 点,用极坐标法(见建井测量)标定基础支座中心 $O_1$ 、 $O_2$ 、 $O_3$ 、 $O_4$ ;在各支座中心处置仪器,标定支座十字中线控制桩如 $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$ 、 $A_4$ ,用水准仪抄平桩顶并测量高程。组立模板时用支座十字线 $A_1A_2$ 和 $A_3A_4$ 控制平面位置,由控制桩顶向下丈量高差以确定基础顶面各点的高程位置,同时预留出地脚螺孔。混凝土凝固后,在顶面预留的铁桩上刻出支座十字线。

**井架组立时检查测量** 井架组立后,根据支座十字线找正井架腿位置。用经纬仪将十字中线标定到天轮平台上,丈量天轮平台上预刻的十字中线到井筒十

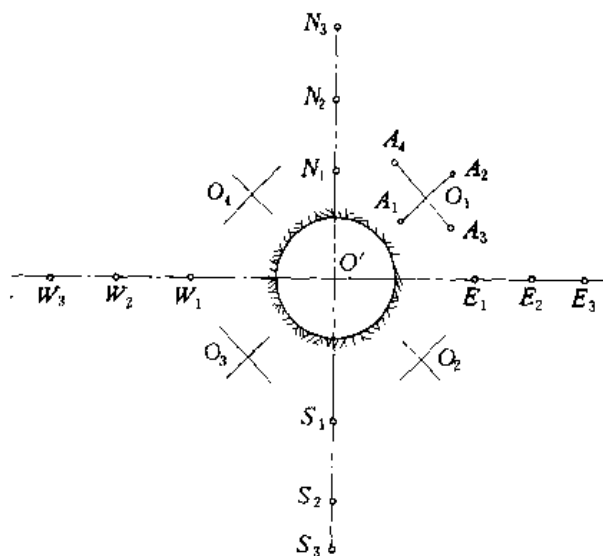


图1 临时井架基础标定

字中线的偏距,如超限,调整架腿底脚,直至符合设计要求。

**永久井架施工测量** 主要内容有井架组装检查、斜撑基础标定、底座位置标定、井架组立找正和井架竖直程度测量。

**井架组装检查** 在组装场地用经纬仪标定一条井筒十字中线的延长线,以此中线为准铺设枕木、轨道;用水准仪抄平轨面,检查各立柱节点间的高差;在天轮平台上按设计标出井架中线或井筒十字中线。

**斜撑基础标定** 由设计图上取得标定数据,以井筒中心和井筒十字中线为依据标定斜撑基础中心 $O_1$ 、 $O_2$ ,同时标定基础支座十字线,以控制桩固定,作为施工检查依据(图2)。

**井架底座(板梁)标定** 依据井筒十字中线和井口水准基点,找正板梁的平面位置和高程位置。板梁组装后,对其平面位置及其水平性进行检查测量。

**井架组立找正** 用安置在两条十字中线基点上的

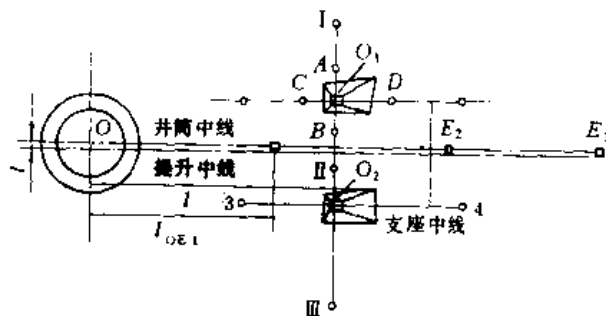


图2 斜撑基础标定

经纬仪,向天轮平台上标定井筒十字中线,与地面组装时定出的天轮平台十字中线点相比较,以找正井架的平面位置。天轮平台上每条中线的前、后两点应由设在同一基点上的经纬仪标定,预刻中线与标定中线之差应符合设计要求。

井架竖直程度测量 通常用偏角法和投影法进行。

(1) 偏角法。将经纬仪置于相邻两立柱外侧(图3a),照准立柱如A柱下部外棱,读取度盘读数作为起始方向值;然后由下向上依次照准各构件连接节点外棱,测量偏角 $\beta$ ,并丈量仪器至立柱A下部外棱的平距 $S_A$ ;各节点外棱的偏距 $l_i = \frac{\beta_i}{\rho} S_A$ ,式中 $\rho = 206265''$ 。同法测量其他立柱不同侧面的偏距。

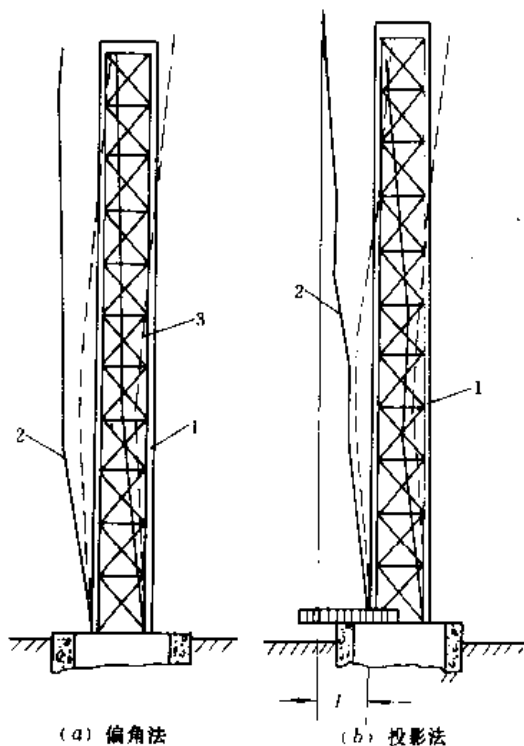


图3 井架竖直程度图

1—井架设计位置; 2—井架前面实际位置;  
3—井架后面实际位置

(2) 投影法。在井架立柱底部,垂直于仪器视线横置一个毫米分划的标尺(图3b)。用望远镜照准立柱底部外棱,读取标尺读数作为零位置。然后分别照准各立柱节点外侧,再下俯望远镜在标尺上读数,与零位读数之差即为其偏距值。

检测后,根据测量成果绘制井架竖直程度图。

(刘 林)

## 井塔施工测量

(construction survey for shaft-tower) 构筑提升井塔过程中所进行的测量工作。井塔可在井口直接构筑,也可在井旁预制。提升井塔有严格的几何要求,四壁要竖直,中心轴线与井筒中心线重合,各层平台及绞车大厅应水平。测量的任务是控制井塔按上述几何关系施工。

井口构筑井塔施工测量 井塔有圆形和矩形两种,施工测量大致相同。主要内容有井塔基础施工测量、组立滑升模板检查测量、模板滑升测量、井塔沉降观测。

井塔基础施工测量 如图1,根据井筒十字中线,按设计尺寸以直角坐标法(见建井测量)标定基础各轴线位置,并设置控制桩。开挖基坑时,标定基坑底部设计高程;基础混凝土浇注后,在其表面坦设十字中线铁桩。根据井筒十字中线基点,用经纬仪于铁桩上精确标定基础十字中线点1、2、3、4。

组立滑升模板检查测量 根据基础十字中线点确定井塔中心;用井筒十字中线基点上的经纬仪找正模

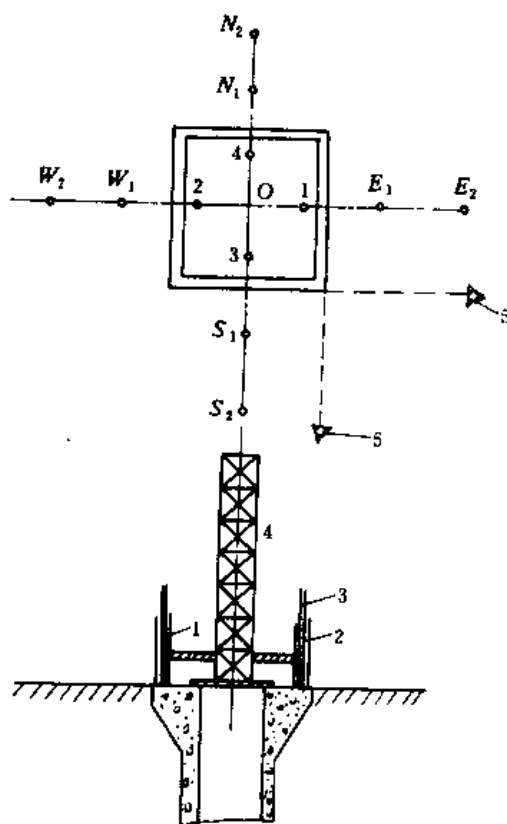


图1 井塔施工测量

1—内滑升模板; 2—外滑升模板; 3—钢筋;  
4—脚手架; 5—经纬仪

板平面位置;用安置于墙壁轴线控制桩上的经纬仪,从正交的两个方向检查墙柱轴线和控制其垂直程度;用水准仪抄平模板。

**模板滑升测量** 在脚手架上标定井筒中心点,悬挂中心垂线——井塔中心线。在模板滑升过程中,经常检查操作平台中心是否与它重合,并用十字中线基点上安置的经纬仪检查和校正模板位置。用水准仪根据千斤顶爬杆上的水平标志点,检查平台的水平度和模板的高程。由地面高程点用钢尺丈量垂距,控制各层平台的高程。井塔的绞车大厅平台和各层平台浇注完毕后,应向绞车大厅和各层平台上转设井筒十字中线和高程点。

**井塔沉降观测** 观测点埋设在井塔基础的四周和井塔基础与井筒相对沉降缝的两侧。用水准仪测量各测点的高程。每滑升一个平台或每增加一次荷重观测一次。根据测点的高程变化,掌握沉降情况。

**井旁预制井塔测量** 测量内容有准备阶段测量、施工测量、整体平移监测和井塔就位安装测量(图2)。

**准备阶段测量** 以井筒十字中线为依据,精确标定预制井塔中心和井塔十字中线,并使其中一条线与井筒十字中线重合。对滑道中心线、轨距、轨面高差应进行检查测量,其结果应符合设计要求。

**施工测量** 包括:标定临时基础轴线,标定基础底部和顶面高程,在基础面四角设置沉降观测点,抄平承载托盘平面,组立模板时依据井塔十字中线检查其平面位置及底部和顶面的水平度。每构筑一层,及时检查

其高度,并向平台转设十字中线点和高程点。定期进行基础沉降观测。

**整体平移监测** 为保证预制井塔安全地滑移到井口,在滑移过程中必须进行监测。用置于十字中线基点上的经纬仪,按井塔上十字中线标志,测量井塔滑动过程中的位置变化;用水准仪测量井塔基础四周固定点的高程,求得其高程变化。依此进行监测。

**井塔就位安装测量** 用安置在十字中线基点上的四台经纬仪,观测绞车大厅平台上预设的中线标记,找正井塔,使井塔十字中线与井筒十字中线吻合。用水准仪进行基础沉降观测,直至稳定。

(刘 林)

## jingtong yanshen celiang

### 井筒延深测量 (shaft-deepening survey)

保证延深立井中心与原有立井中心一致所进行的测量工作。立井延深的施工方式有利用辅助水平延深、利用延深间延深、利用小反井延深三种。

(1) 利用辅助水平延深(图1)。在原井底车场水平以下,用暗斜井(或暗立井)开凿一个辅助水平,布置施工用的巷道和硐室,安装施工设备,进行辅助水平以下井筒段的掘砌和安装;拆除保护岩柱并砌壁,进行辅助水平以上直至原井底的安装。

(2) 利用延深间延深(图2)。当延深井筒的断面布置中有延深间可以利用时方可采用。施工设备可布置在地面或井下绞车硐室水平。井筒的掘砌和安装,与利用辅助水平延深法相同。

(3) 利用小反井延深(图3)。先由新水平的井筒位置自下向上掘进小反井,再由辅助水平自上向下对小反井刷大、砌壁和安装。辅助水平以上井筒的施工,与利用辅助水平施工法相同。

井筒延深测量工作的内容有三项:①由于原井筒可能变形移位,须实测原立井井底处的井筒中心坐标和十字中线的坐标方位角,作为延深井筒的标定数据;②由生产水平到辅助水平(或新水平)进行连接测量,求得标定井筒中心和十字中线的测点;③在施工水平标设延深立井的井筒中心和十字中线点,指示井筒延深。

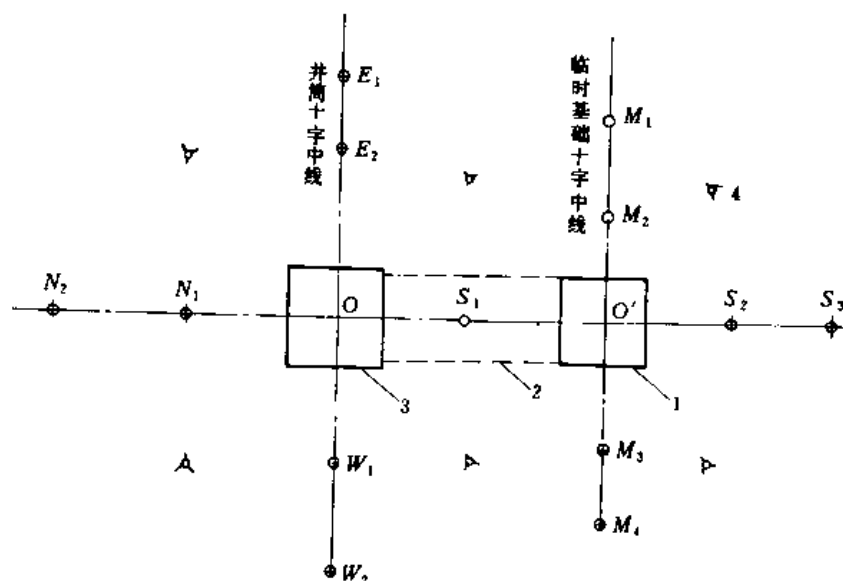


图2 预制井塔滑移就位测量

1—临时基础;2—滑行道基础;3—永久井塔基础;4—水准仪

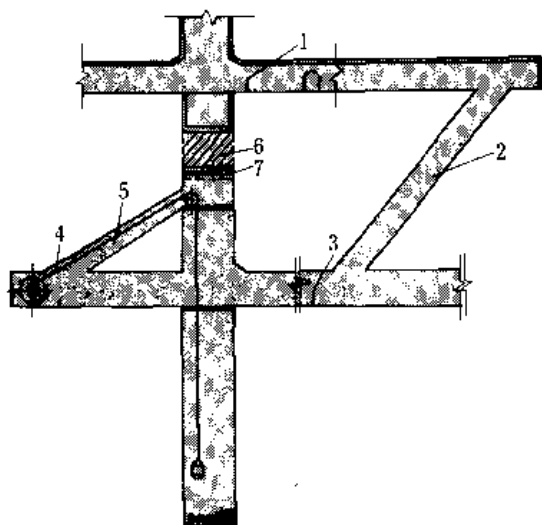


图1 利用辅助水平延深井筒示意图

1—生产水平；2—辅助暗斜井；3—延深辅助水平；  
4—提升机硐室；5—绳道；6—保护岩柱；7—护顶盘

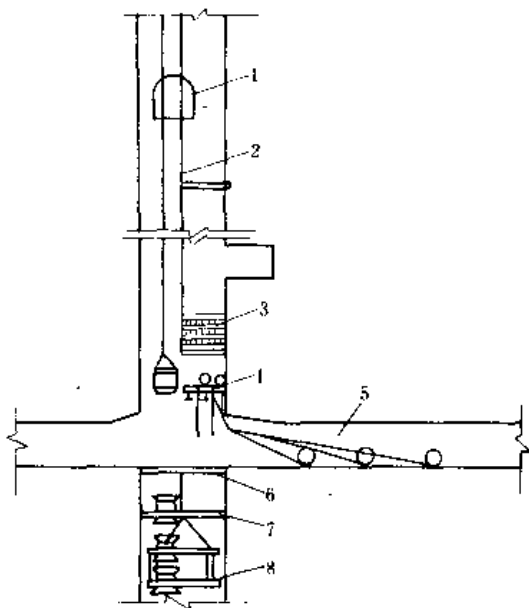


图2 利用延深间隔延深立井示意图

1—生产水平通道；2—挡板；3—人工保护盘；  
4—天轮平台；5—凿井绞车硐室；6—封口盘；  
7—固定盘；8—吊盘

**测定原立井井筒中心和十字中线** 原立井实际的井筒中心坐标和十字中线的坐标方位角，根据井筒用途和装备情况，可采取测量罐梁、罐道和测量井壁两种方法求得。

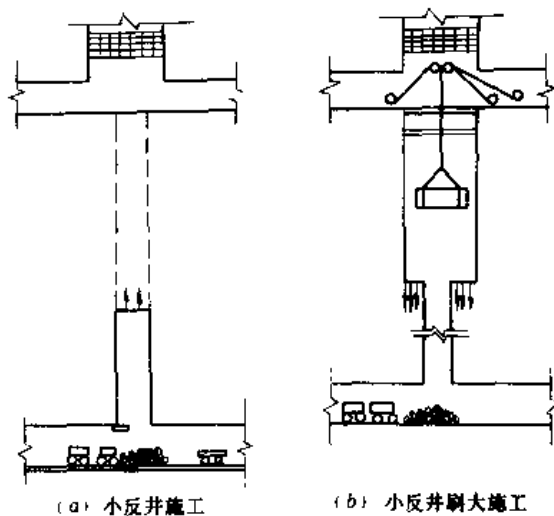


图3 利用小反井延深立井示意图

**测量罐梁、罐道** 在原井底车场水平以上的某一道罐梁上，沿主梁方向挂下两根垂线。在井底车场，根据井下导线点，按一井定向连接测量的方法（见几何定向）和设计规定的精度要求，对两根垂线进行连接测量，求出垂线的坐标及其连线的坐标方位角。然后测量人员以罐笼顶或箕斗平台作为升降工作台，自上而下和自下而上，逐盘丈量两垂线至罐梁、罐道的距离以及罐梁、罐道本身的宽度，并计算其平均值。根据两垂线的坐标和其连线的坐标方位角，以及垂线至罐梁、罐道的平均距离，计算出井筒的提升中线坐标方位角和提升中心坐标值；再根据原井筒装备图上的提升中心和井筒中心间的关系，由提升中心坐标，推算出井筒中心坐标。

**测量井壁** 无提升装备的井筒，如风井可用此法。首先在井筒内悬挂2~3根垂球线；在地面或生产（回风）水平，根据井口附近的导线点，用几何定向方法，对垂球线进行连接测量，求出各垂球线的坐标。然后按一定间隔由井底向上测4~6层点；在每层井壁上，选出不少于6个测点，丈量出各井壁测点至每一垂球线的水平距离。井筒中心坐标用图解法确定，绘图比例尺一般为1:10。先按垂球线的坐标值将其位置展绘在格网纸上；再根据两垂线点按其至各井壁测点的水平距离，用线交会法绘出各井壁测点。取各层井壁点的中值得六个代表井壁的点，组成两个三角形，用图解法求出两三角形外接圆的圆心。若两个圆心不重合，取其连线的中点作为井筒实际中心位置。在图上量出井筒中心坐标值，作为延深立井实际井筒中心坐标。井筒十字中线的坐标方位角，一般以井筒地面十字中线的坐标





方位角为准或取其设计值。对于装备钢丝绳罐道的井筒,可在井底平台上,用上述方法求出井筒中心的实际坐标值,根据井塔上的定位梁确定十字中线的坐标方位角。

**生产水平至延深(新)水平的测量** 在延深辅助水平或新水平,用于标设井筒中心和十字中线点的测点,一般通过辅助下山,用导线测量的方法求得。导线的施测精度取决于延深立井的用途和施工程序。若为风井,或虽为主、副井,但井筒设备的安装是在打通岩柱或岩柱中预留有放线孔的条件下进行的,则井筒中心的标设精度,只要满足井壁贯通的精度要求即可,可采用基本控制导线的精度施测。若井筒内罐梁、罐道的安装是在不打通岩柱也未留有测量放线孔的条件下进行的,则井筒中心的标设精度,要满足罐梁、罐道预安装的精度要求,应设计高精度导线,采用特殊的测量方法施测(见贯通测量)。

**标设延深立井井筒中心和十字中线点**

**利用辅助水平延深** 根据标定时采用的测点的坐标和已测定的原立井井筒中心坐标间的关系,用极坐标法标出井筒中心位置和十字中线点,并按立井井筒施工测量的方法将其埋设和固定(见立井施工测量)。若是在未打通岩柱前预安装罐梁、罐道,而测量标设精度又不能满足安装技术要求时,要采取不同的特殊工程措施,提高标设精度。在保护岩柱下施工时,在安装前,用钻机或小断面立井打通岩柱,作为测量放线联络孔。一般打两个孔,由生产水平通过联络孔下放两根垂线至延深辅助水平,将坐标系统直接传递到延深辅助水平,并以此作为重新标定罐梁、罐道安装线的依据。若只有一个联络孔并只能下放一根垂线,在辅助水平对垂线连接后,可以根据下放垂线的坐标值和辅助水平原有导线边的方位角值,对连接点的坐标进行改算,再用连接点改算过的坐标值作为标定依据。在人工保护盘下施工时,若人工保护盘尚未构筑,可直接将原立井的十字中线由生产水平转设到人工保护盘下的井壁上,作为施工测量依据。若人工保护盘正在或已经构筑,在人工保护盘内竖直地顶置两根直径不小于100mm的铁管,通过铁管下放两根垂线,将生产水平的坐标系统直接传递到辅助水平,作为测量标定依据。

**利用延深间延深** 当延深间施工到岩柱下,按设计要求进行井筒全断面施工后,由生产水平,通过延深间下放两根垂线,根据两垂线的坐标值与井筒中心坐标值的关系,用线交会法标出临时井筒中心位置,作为施工依据。当延深井筒掘进5~10m,施工完绞车硐室水平和安装封口盘后,由生产水平通过延深间重新下

放两根垂线,按一井定向测量方法(见几何定向)将坐标系统传递到绞车硐室水平,再由绞车硐室水平的测点在封口盘上精确标定井筒中心位置和十字中线点。

**利用小反井延深** 当新水平的巷道掘进至延深立井正下方后,利用新水平的导线点将实测后的实际井筒中心位置标设于巷道底板,并埋设固定标志;将十字中线点标设于巷道顶板和木垛墙基的扒钉上,作为打反井的控制。由辅助水平往下刷大反井前,在辅助水平,按利用辅助水平延深时井筒中心和十字中线点的标设方法,标出井筒中心和十字中线点,作为施工的依据。

(陆飞伟)

jingxia daoxian celiang pingcha

**井下导线测量平差** (adjustment of under-

ground traverse survey) 为消除井下导线测量中由多余观测所引起的矛盾而进行的计算工作。通过平差计算可求得待定量的平差值和评定导线测量精度。井下经纬仪导线通常采用简化平差法,其实质是将角度和纵横坐标增量分别平差。首先进行角度平差,然后根据改正过的角度计算坐标增量,再分别进行纵横坐标增量的平差。

**单个经纬仪导线的平差**

**单个闭合或附合导线的平差** 当角度闭合差不超过规定要求时,计算角度改正数,并以各角改正数的总和应与角度闭合差大小相等符号相反这一条件进行检核,然后按改正后的角度计算坐标增量闭合差 $f_x$ 、 $f_y$ 。 $\sqrt{f_x^2+f_y^2}$ 与导线总长之比,不超过限差规定时,坐标增量闭合差可按坐标增量或边长成正比例反号分配给相应的坐标增量。

**复测支导线的平差**

(1) 角度平差。井下某一条支导线作了两次观测,令其为导线Ⅰ和导线Ⅱ。由两次观测成果分别计算同一最终边的坐标方位角为 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ ,则角度闭合差为:

$$f_\beta = \alpha_1 - \alpha_2$$

角度闭合差不超过允许值时,计算角度改正数;当等精度测角时,取 $\alpha_1$ 、 $\alpha_2$ 的权分别为 $p_1=1/n_1$ 、 $p_2=1/n_2$ ,则最终边坐标方位角的平差值为:

$$\alpha = \frac{p_1 \alpha_1 + p_2 \alpha_2}{p_1 + p_2} = \frac{n_2 \alpha_1 + n_1 \alpha_2}{n_1 + n_2}$$

导线Ⅰ和导线Ⅱ的角度改正数总和为: $\Sigma v_{\beta_1} = \alpha - \alpha_1$ ,  $\Sigma v_{\beta_2} = \alpha - \alpha_2$ 。相应导线的角度改正数为 $v_{\beta_1} = \Sigma v_{\beta_1} / n_1$ ,  $v_{\beta_2} = \Sigma v_{\beta_2} / n_2$ 。

当导线中间具有若干共同边时,则按共同边将导线分成若干段,每分段按上述方法平差。若其中某些角度是共同的或测了左右共轭角时,对于共同角则取两次测量的平均值,对左右共轭角则应进行改正,使左右角之和为  $360^\circ$ 。

(2) 坐标增量平差。导线的相对闭合差不超过规定限差时,根据边长和改正后的角度计算各边的坐标增量,并按导线 I、II 分别计算始、终点间的坐标增量。始、终点间坐标增量的平差值就是两条导线所算得的坐标增量的平均值,即:

$$\sum_A^B \Delta x = \frac{1}{2} \left( \sum_A^B \Delta x_1 + \sum_A^B \Delta x_2 \right)$$

$$\sum_A^B \Delta y = \frac{1}{2} \left( \sum_A^B \Delta y_1 + \sum_A^B \Delta y_2 \right)$$

若两条导线中间有若干共同点,则按共同点将导线分成若干段,每分段仍按上述方法计算。

· 方向附合导线平差 为提高井下经纬仪导线的精度,除了用陀螺经纬仪(或几何定向)测定井下导线起始边的方位角外,还可每隔一定距离用陀螺经纬仪测定导线边的方位角,进行方向控制。这种导线称为方向附合导线。由于产生了角条件,故应进行角度平差。

等精度测角时,角度闭合差的容许值按二倍中误差计算:

$$f_{\text{容}} = 2 \sqrt{m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2 + nm_{\beta}^2}$$

式中  $m_{\alpha_1}$  和  $m_{\alpha_2}$  为两端陀螺定向方位角中误差;  $m_{\beta}$  为导线测角中误差;  $n$  为导线点数。

陀螺定向边作为坚强方向的判别式为:

$$\frac{\sqrt{m_{\alpha_1}^2 + m_{\alpha_2}^2}}{m_{\beta} \sqrt{n}} \leq \frac{1}{3} \quad (1)$$

上式成立,则两端陀螺定向边可视为坚强方向,即不在平差中加改正数。此时按附合导线计算角度改正数,进行角度平差。加测多条陀螺定向边而将导线分成多段方向附合导线,定向边又可视为坚强方向时,则分段按方向附合导线进行角度平差。当判别式(1)不成立时,说明定向边不能看作坚强方向,即两定向边在平差中应进行方向改正。图1为两端和中间为定向边的

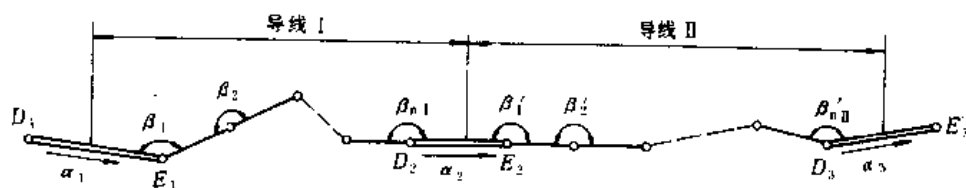


图1 方向附合导线

两段方向附合导线的角度平差,取导线中的测角中误差  $m_{\beta}$  为单位权中误差,则定向边坐标方位角的权为:

$$p_{\alpha_1} = \frac{m_{\beta}^2}{m_{\alpha_1}^2}, \quad p_{\alpha_2} = \frac{m_{\beta}^2}{m_{\alpha_2}^2}, \quad p_{\alpha_3} = \frac{m_{\beta}^2}{m_{\alpha_3}^2}$$

式中  $m_{\alpha_1}$ 、 $m_{\alpha_2}$ 、 $m_{\alpha_3}$  为定向边坐标方位角的中误差。

设  $q_1$ 、 $q_2$ 、 $q_3$  为相应的权倒数,组成法方程式后可求得联系数:

$$k_1 = \frac{q_2 f_{\beta_1} + n_{10} f_{\beta_1}}{q_2^2 - n_{10} n_{10}}$$

$$k_2 = \frac{q_2 f_{\beta_1} + n_{10} f_{\beta_1}}{q_2^2 - n_{10} n_{10}}$$

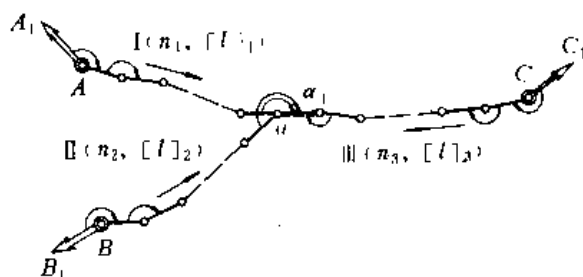
式中  $n_{10} = n_1 + q_1 + q_2$ ,  $n_{10} = n_1 + q_2 + q_3$ 。

角度和定向边坐标方位角的改正数为  $v_{\beta_1} = k_1$ ,  $v_{\beta_1} = k_2$ ,  $v_{\alpha_1} = q_1 k_1$ ,  $v_{\alpha_2} = q_2 (k_2 - k_1)$ ,  $v_{\alpha_3} = -q_3 k_3$ 。

### 井下导线网平差

结点法平差 具有多个坚强方向和坚强点的导线相交于一个或几个结点所构成的网形,称为结点导线网,常采用结点法平差。其实质是首先求得与结点连接的一条边(称为结边)的方位角平差值和结点的坐标平差值,再求得其他点的坐标平差值。

一个结点的导线网平差 图2中的 A、B、C 为坚



$$\alpha_{aa_1} = \frac{p_1 \alpha_1 + p_2 \alpha_1 + p_3 \alpha_1}{p_1 + p_2 + p_3} = \frac{[p\alpha]}{[p]}$$

等精度观测时, 其权为  $p_1 = 1/n_1$ ,  $p_2 = 1/n_2$ ,  $p_3 = 1/n_3$ 。式中  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $n_3$  分别为由路线 I、II、III 计算结边坐标方位角时所用的角度个数。各环节的角度闭合差为:

$$f_{\beta_1} = \alpha_1 - \alpha_{aa_1}$$

$$f_{\beta_2} = \alpha_1 - \alpha_{aa_1}$$

$$f_{\beta_3} = \alpha_1 - \alpha_{aa_1}$$

将角度闭合差以反号平均分配到相应环节的左角中, 即角度改正数为:

$$v_{\beta_1} = -\frac{f_{\beta_1}}{n_1}, \quad v_{\beta_2} = -\frac{f_{\beta_2}}{n_2}, \quad v_{\beta_3} = -\frac{f_{\beta_3}}{n_3}$$

当  $A_1A$ 、 $B_1B$ 、 $C_1C$  为陀螺定向边, 其定向误差分别为  $m_{\alpha_1}$ 、 $m_{\alpha_2}$ 、 $m_{\alpha_3}$ , 经判别式 (1) 判断不能作为坚强方向时, 其权为:

$$p_1 = \frac{1}{n'_1 + n_1}$$

$$p_2 = \frac{1}{n'_2 + n_2}$$

$$p_3 = \frac{1}{n'_3 + n_3}$$

式中  $n'_1 = m_{\alpha_1}^2/m_{\beta}^2$ ;  $n'_2 = m_{\alpha_2}^2/m_{\beta}^2$ ;  $n'_3 = m_{\alpha_3}^2/m_{\beta}^2$ 。

角度和方向改正数为:

$$v_{\alpha_1} = -\frac{f_{\beta_1}}{n'_1 + n_1}, \quad v_{\beta_1} = -\frac{f_{\beta_1}}{n'_1 + n_1}$$

$$v_{\alpha_2} = -\frac{f_{\beta_2}}{n'_2 + n_2}, \quad v_{\beta_2} = -\frac{f_{\beta_2}}{n'_2 + n_2}$$

$$v_{\alpha_3} = -\frac{f_{\beta_3}}{n'_3 + n_3}, \quad v_{\beta_3} = -\frac{f_{\beta_3}}{n'_3 + n_3}$$

(2) 坐标增量的平差。从三条路线分别计算结点  $a$  的坐标  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ , 其权分别为  $p_1 = 1/[l]_1$ 、 $p_2 = 1/[l]_2$ 、 $p_3 = 1/[l]_3$ , 此处  $[l]_i$  表示环节  $i$  上导线边长的总和。 $a$  点坐标的平差值为:

$$x_a = \frac{p_1 x_1 + p_2 x_2 + p_3 x_3}{p_1 + p_2 + p_3}$$

$$y_a = \frac{p_1 y_1 + p_2 y_2 + p_3 y_3}{p_1 + p_2 + p_3}$$

各环节的坐标增量闭合差为:

$$f_{x_i} = x_i - x_a, f_{y_i} = y_i - y_a \quad (i = 1, 2, 3)$$

将坐标增量闭合差以反号按边长成正比例分配到相应环节各点间的坐标增量中。

两个结点的导线网平差 常用逐渐趋近法, 属间接观测平差。根据导线网的图形选定结点和结边, 以结点的坐标和结边的坐标方位角为未知数, 分别进行平差。采用逐渐趋近法平差, 不必列出误差方程式和法方

程式, 而可直接写出求未知数平差值的方程式, 利用逐渐趋近法求解未知数。这种方法适用于已知坚强点和坚强方向较多的情况。

图 3 为有四个坚强点和四个坚强方向及两个结点的导线网。各条路线 (环节) 分别以  $L_1$ 、 $L_2$ 、 $L_3$ 、 $L_4$  和  $L_5$  表示。

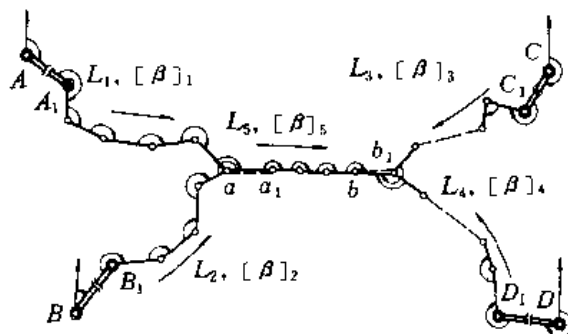


图 3 两个结点的导线网

(1) 角度平差。按结点平差原理, 并考虑到各环节的权, 结边  $aa_1$ 、 $bb_1$  坐标方位角的平差值为:

$$\left. \begin{aligned} \alpha_{aa_1} &= \{ p_1(\alpha_{AA_1} + [\beta]_1 - n_1 180^\circ) \\ &\quad + p_2(\alpha_{BB_1} + [\beta]_2 - n_2 180^\circ) \\ &\quad + p_3(\alpha_{CC_1} + [\beta]_3 - n_3 180^\circ) \\ &\quad + p_4(\alpha_{DD_1} + [\beta]_4 - n_4 180^\circ) \\ &\quad + p_5(\alpha_{ab} + [\beta]_5 - n_5 180^\circ) \} \\ &\quad \times (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)^{-1} \\ \alpha_{bb_1} &= \{ p_1(\alpha_{AA_1} + [\beta]_1 - n_1 180^\circ) \\ &\quad + p_2(\alpha_{BB_1} + [\beta]_2 - n_2 180^\circ) \\ &\quad + p_3(\alpha_{CC_1} + [\beta]_3 - n_3 180^\circ) \\ &\quad + p_4(\alpha_{DD_1} + [\beta]_4 - n_4 180^\circ) \\ &\quad + p_5(\alpha_{ab} + [\beta]_5 - n_5 180^\circ) \} \\ &\quad \times (p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)^{-1} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中  $\alpha_{AA_1}$ 、 $\alpha_{BB_1}$ 、 $\alpha_{CC_1}$ 、 $\alpha_{DD_1}$  为坚强方向的坐标方位角;  $[\beta]_i$  为环节  $i$  ( $i=1, 2, \dots, 5$ ) 上水平角观测值的总和。等精度测角时, 取测角中误差为单位权中误差, 则各路线推算的坐标方位角的权为  $p_1 = 1/n_1$ 、 $p_2 = 1/n_2$ 、 $\dots$ 、 $p_5 = 1/n_5$ , 此处  $n_1$ 、 $n_2$ 、 $\dots$ 、 $n_5$  为各推算路线所经过的角度个数。用式 (2) 不能一次直接计算出结边坐标方位角的平差值, 只能用逐渐趋近法计算, 作为第一个结边的第一次近似值, 在式 (2) 的分子分母中均不考虑结边与结边的关系。而在求第二个结边的第一次近似值时, 可将第一结边的第一次近似值代入。其余结边, 以此类推。作第二次趋近时, 应将第一次近似值代入公式中, 而已求得的第二次近似值, 亦应逐一代入其余结边中计算。依此继续进行第三、第四……次趋近。计算一直进行到新的近似值与上一次近似值在尾数上相差不大于取用最小单位的 1~2 为止。将各结边坐标

方位角的平差值作为坚强数据,所有结边与结边之间、结边与坚强边之间,按附合导线计算各推算路线(环节)的角度改正数,平均分配到相应路线的各角上,计算各边的坐标方位角及坐标增量。单位权中误差:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-t}}$$

式中  $n$  为路线的个数;  $t$  为结点数目;  $v$  为各路线的改正数。

(2) 结点 ( $a$  及  $b_1$ ) 的坐标平差。以各推算路线导线边长总和的倒数作为权,即  $p_i = 1/[L]$ , 改化权  $p'_i = p_i/[p]$ ,  $[p'] = 1.00$ 。纵横坐标平差需分别进行,方法同角度平差。求得结点坐标的平差值后,所有结点与结点之间、结点与坚强点之间,按附合导线进行平差计算。

**多边形平差法** 属条件观测平差,常用于平差井下导线网。

**自由导线网的角度平差** 只有一个坚强方向和一个坚强点的导线网称为自由导线网。图 4 为具有三个闭合环 I、II、III 的自由导线网。属于一个闭合环的环节如 AB、BC、CA 称为独立环节,属于两个闭合环的环节如 AD、BD、CD 称为公共环节。环节的边数以  $n$  表示,并用下角标数字表示所属闭合环的编号。每个环节中除整角外,在两个结点处还各有一个方向(半角),又构成一个整角,故每个环节角度的个数与边的个数相等。网的条件方程式的数目  $r$  等于多余观测值的数目,即

$$r = s + t - 1$$

式中  $s$  为闭合环的数目;  $t$  为坚强方向(坐标平差时为坚强点)的数目。在自由网中  $t = 1, r = s$ 。法方程式可依据草图直接列出,每环中首先列出本环独立环节的改正数  $v$  乘本环的总边数,减去相邻闭合环独立环节的改正数乘相应公共环节的边数,再加上本环的角闭合差,其总和等于零:

$$\left. \begin{aligned} N_1 v_1 - n_{1,2} v_2 - n_{1,3} v_3 + f_{\beta_1} &= 0 \\ N_2 v_2 - n_{1,2} v_1 - n_{2,3} v_3 + f_{\beta_2} &= 0 \\ N_3 v_3 - n_{1,3} v_1 - n_{2,3} v_2 + f_{\beta_3} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

式中  $N$  为各闭合环的总角度,  $N_1 = n_1 + n_{1,2} + n_{1,3}$ ,  $N_2 = n_2 + n_{1,2} + n_{2,3}$ ,  $N_3 = n_3 + n_{1,3} + n_{2,3}$ ;  $v_i$  为各环节每个角度的改正数。公共环节如 BD 上的改正数,属于第 I 环的角度为  $v_{1,2}$ , 属于第 II 环的角度为  $v_{2,1}$ ,  $v_{2,1} = -v_{1,2}$ ;  $f_{\beta_i}$  为按内角计算的各环的角度闭合差。解式 (3), 求得独立环节角度改正数  $v_1$ 、 $v_2$ 、及  $v_3$ 。公共环节上的角度改正数,为相邻闭合环独立环节的角度改正数之差。一个方向的改正数为整角改正数的  $1/2$ 。

结点上的角度改正数,等于该角两个夹边的方向改正数之和。若在测站测了左右共轭角或结点上的全部角度,在平差前应先进行调整,使每站测角之和为  $360^\circ$ 。式 (3) 中自乘项的系数  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$  较其它项的系数大得多,故可用逐渐趋近法解算,不列出法方程式,而是在平差图的草图上直接求出每个环节的总改正数,然后再求出每个角的改正数。

测角中误差:

$$m_\beta = \pm \sqrt{\frac{\left[\frac{\delta^2}{n}\right]}{r}}$$

式中  $\delta$  为每个环节的总改正数。

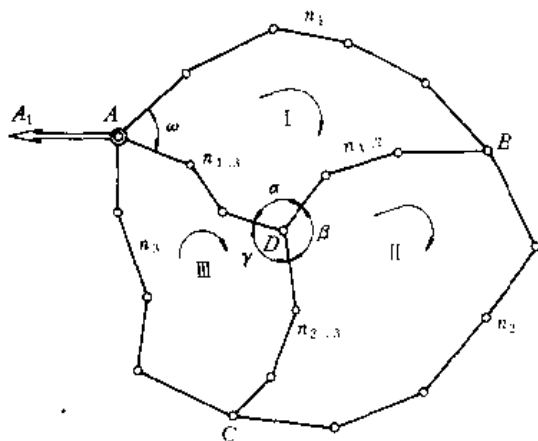


图 4 三个闭合环的自由导线网

**自由导线网坐标增量的平差** 用平差后的角值按顺时针方向计算坐标增量和每一闭合环的坐标增量闭合差,然后按逐渐趋近法在图上分别对纵、横坐标增量进行平差。求得每一环节的总改正数后,按边长成正比例地进行分配。

(张国良)

jingxia daoxian celiang wucha

**井下导线测量误差** (error of underground traverse survey)

井下测角量边误差对导线测量的误差积累。分析经纬仪导线测量误差,了解测角量边误差对导线测量的精度影响,对于采取相应措施提高导线测量精度,进行导线设计和贯通测量误差预计等均有指导意义。

**水平角测量误差** 主要包括仪器误差、测角方法误差  $m_i$  和对中误差  $m_e$ 。

**仪器误差** 由仪器各部件的加工公差、装校不完善、仪器结构的几何关系不正确和稳定性差等因素所引起。其中主要是视准轴误差、横轴倾斜误差和竖轴倾

斜误差, 简称三轴误差。

视准轴不与横轴垂直的误差称为视准轴误差。视准轴误差对半测回(或半复测)角值的影响为:

$$\Delta\beta_c = C \left( \frac{1}{\cos\delta_2} - \frac{1}{\cos\delta_1} \right)$$

$C$  为视准轴误差;  $\delta_2$  与  $\delta_1$  为瞄准前、后视点时的倾角。视准轴误差可用正倒镜两个镜位测角取平均值加以消除。

横轴不与竖轴垂直的误差, 称为横轴倾斜误差。它是由于横轴两端支架不等高和轴径不等的原因所引起的。横轴倾斜误差对半测回(或半复测)角值的影响为:

$$\Delta\beta_i = i(\operatorname{tg}\delta_2 - \operatorname{tg}\delta_1)$$

式中  $i$  为横轴倾斜误差, 即横轴的倾角。用两个镜位测角时, 可以消除横轴倾斜误差的影响。

竖轴不铅垂的误差称为竖轴倾斜误差。它是由于竖轴整置不正确、照准部旋转不正确以及外界因素影响等原因所引起的。测量水平角时, 竖轴倾斜误差对半测回(或半复测)角值的影响为:

$$\Delta\beta_v = v(\cos\alpha_2 \operatorname{tg}\delta_2 - \cos\alpha_1 \operatorname{tg}\delta_1)$$

式中  $v$  为竖轴与铅垂线之间的夹角,  $\alpha$  为竖轴倾斜方向线与横轴在平面上投影线间的夹角。竖轴倾斜误差不能用正倒镜消除, 因此仪器应精确整平。进行重要贯通测量时, 应根据需要加入此项改正数。

测角方法误差  $m_1$  它是由照准误差  $m_v$  和读数误差  $m_n$  引起的。用测回法测角时:

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{m_v^2}{n} + \frac{m_n^2}{n}}$$

用复测法测角时:

$$m_1 = \pm \sqrt{\frac{m_v^2}{n} + \frac{m_n^2}{2n^2}}$$

式中  $n$  为测回数或复测数。

对中误差  $m_e$  由经纬仪和前后视觐标的对中误差引起的水平角测量误差。前、后视觐标的对中误差相等为  $e_c$ 、经纬仪对中误差为  $e_T$  时:

$$m_e = \pm \frac{\rho''}{\sqrt{2ab}}$$

$$\times \sqrt{e_c^2(a^2 + b^2) + e_T^2(a^2 + b^2 - 2ab\cos\beta)}$$

式中  $a$ 、 $b$  为前后视边长;  $\beta$  为夹角。水平角测角中误差:

$$m_\beta = \pm \sqrt{m_1^2 + m_e^2}$$

测角误差可根据实际资料求算。当有多个独立的等精度双次观测值时, 一次测量的测角中误差:

$$m_\beta = \pm \sqrt{\frac{[dd]}{2n}}$$

式中  $d$  为同一角度两次独立观测值的差值;  $n$  为差值的个数。当有  $N$  条复测支导线终边方位角的差值时:

$$m_\beta = \pm \sqrt{\frac{\left[ \frac{\Delta\alpha\Delta\alpha}{n_1 + n_2} \right]}{N}}$$

式中  $\Delta\alpha$  为支导线终边两次测量的方位角差值;  $n_1$ 、 $n_2$  为复测支导线第一次和第二次测量的角度个数。当有  $N$  个闭(附)合导线的角度闭合差时, 测角中误差:

$$m_\beta = \pm \sqrt{\frac{\left[ \frac{f_\beta f_\beta}{n} \right]}{N}}$$

式中  $f_\beta$  为闭(附)合导线的角度闭合差;  $n$  为单一闭(附)合导线的角数。为避免井下采动影响, 上述所利用的每条复测支导线、闭(附)合导线测量成果, 均应是一次连续测量完成的。

量边误差 井下用钢尺悬空量边的误差来源主要包括钢尺的比长误差、测定钢尺温度的误差、对钢尺施加拉力的误差、测定钢尺松垂距的误差、定线误差、测量斜边倾角的误差、测点投到钢尺上的误差、钢尺的读数误差、风流的影响等。上述各种误差对边长的影响按其性质可分为偶然误差、系统误差以及符号是系统、大小是偶然的三类误差。用钢尺量边时, 由偶然误差引起的边长中误差为  $m_{L\text{偶}} = \pm a\sqrt{L}$ , 式中  $a$  为量边的偶然误差影响系数;  $L$  为丈量的边长。由系统误差引起的边长误差为  $m_{L\text{系}} = bL$ ,  $b$  为边长的系统误差影响系数。总的边长中误差为:

$$m_L = \pm \sqrt{a^2 L + b^2 L^2}$$

在测边较短时, 偶然误差起主要作用, 随着长度的增加, 偶然误差趋于次要地位, 系统误差起主要作用。

用测距仪测量井下基本控制导线边长时, 测距中误差  $m_L = \pm (A + BL)$ 。式中  $A$  为仪器的固定误差, mm, 它由仪器与反射器的对中误差、测相误差、仪器加常数  $K$  的检校误差及周期误差组成;  $B$  为比例误差系数, mm/km, 它由测尺频率误差、大气折射率误差和真空中光速的求定误差组成;  $L$  为测边长度, km。

陀螺定向误差 陀螺经纬仪确定井下定向边坐标方位角的一次定向中误差为:

$$m_\alpha = \pm \sqrt{\frac{m_{T\text{E}}^2}{n} + \frac{m_\Delta^2}{n_\Delta}}$$

式中  $m_{T\text{E}}$  为定向边一测回测量陀螺方位角的中误差;  $m_\Delta$  为一测回测定仪器常数的中误差;  $n$  为定向边测定陀螺方位角的测回数;  $n_\Delta$  为地面测定仪器常数的测回数。陀螺定向误差也可按实际定向测量数据求算。

井下经纬仪导线测量误差

支导线误差 由测角量边(钢尺量边)误差所引起的支导线终点  $K$  的位置误差为(图1):

$$M_{x_K}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{x_i}^2 + a^2 \sum_{i=1}^n l_i \cos^2 \alpha_i + b^2 L_x^2$$

$$M_{y_K}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_{y_i}^2 + a^2 \sum_{i=1}^n l_i \sin^2 \alpha_i + b^2 L_y^2$$

$$M_K^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum_{i=1}^n R_i^2 + a^2 \sum_{i=1}^n l_i + b^2 L^2$$

式中  $R_{x_i}$ 、 $R_{y_i}$  为导线点  $i$  与终点  $K$  的连线  $R_i$  分别在  $x$  轴和  $y$  轴上投影的长度;  $\alpha_i$  为导线边的坐标方位角;  $l_i$  为导线边长;  $m_\beta$  为等精度测角时的测角中误差;  $L_x$ 、 $L_y$  为支导线的起、终点连线  $L$  分别在  $x$  轴和  $y$  轴上的投影长度。

用光电测距仪量边时,量边误差可用  $m_l = \pm (A + BL)$  来表示。

导线精度与测角量边的精度、测站数目和导线形状有关,而测角误差的影响对导线的精度起决定性的作用。

由起算边方位角误差  $m_{\alpha_0}$  和起算点坐标的误差  $m_{x_1}$ 、 $m_{y_1}$  所引起的支导线终点的点位误差为:

$$M_{x_{OK}}^2 = m_{x_1}^2 + R_{x_1}^2 m_{\alpha_0}^2 / \rho^2$$

$$M_{y_{OK}}^2 = m_{y_1}^2 + R_{y_1}^2 m_{\alpha_0}^2 / \rho^2$$

$$M_{OK}^2 = m_1^2 + R_1^2 m_{\alpha_0}^2 / \rho^2$$

式中  $R_{x_1}$ 、 $R_{y_1}$  为导线起点 1 和终点  $K$  连线在  $x$ 、 $y$  轴上的投影长度。

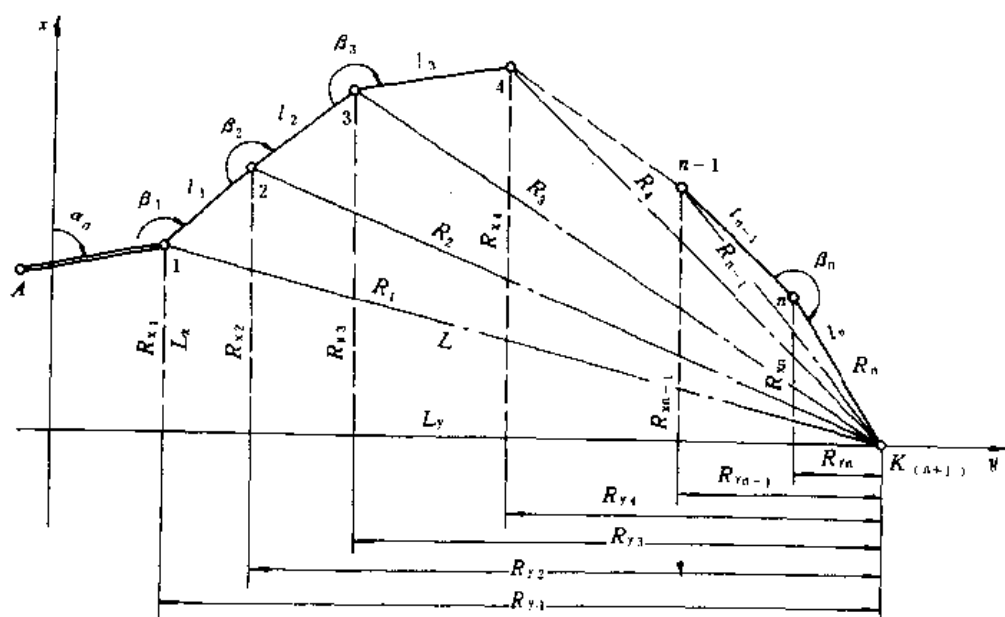


图1 支导线终点  $K$  的位置误差计算

导线起算点的坐标误差对各点的影响不变,与导线长度和形状无关。而起算边方位角误差对各点的影响随  $R_1$  值的增大而增大。

等边直伸形支导线终点的误差 当井下支导线近于等边直伸形时(图2),其终点位置误差可不按原坐标系计算。导线的纵向误差可认为主要受量边误差影响,  $t = \pm L \sqrt{a^2/L + b^2}$ ; 用光电测距仪量边时,  $t = \pm (A + BL)$ 。导线的横向误差可认为主要受测角误差影响,即:

$$u = \pm L \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{n+1.5}{3}} \approx \pm L \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{n}{3}} \quad (n \text{ 较大时})$$

式中  $n$  为导线边的个数;  $L$  为导线起点和终点连线的长度。

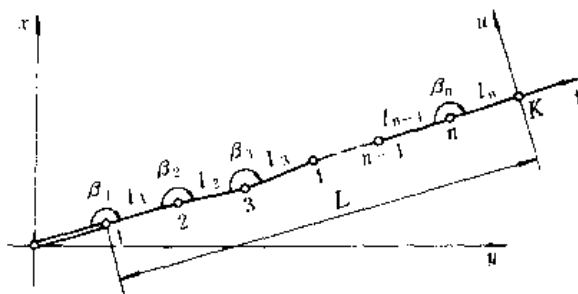


图2 等边直伸形支导线

当测角精度相同且不考虑起算边的坐标方位角误差时,支导线任意边的坐标方位角中误差与测角精

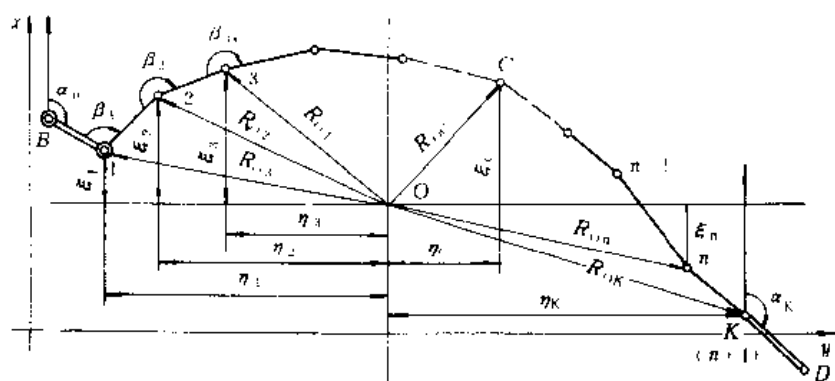


图3 单一附合导线

度  $m_\beta$  和测站数  $i$  有关, 其值为  $m_{\alpha_i} = \pm m_\beta \sqrt{i}$ 。

单一方向附合导线的误差 图3为两端均有坚强方向控制的单一附合导线。角度平差后并考虑起、终边的方位角和起点的误差影响时, 导线终点  $K$  的误差在重心坐标系中的估算公式为:

$$M_{x_K}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [\eta^2] + a^2 [l \cos^2 \alpha] + b^2 L_x^2 + \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} (\eta_1^2 + \eta_K^2) + m_{x_1}^2$$

$$M_{y_K}^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [\xi^2] + a^2 [l \sin^2 \alpha] + b^2 L_y^2 + \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} (\xi_1^2 + \xi_K^2) + m_{y_1}^2$$

$$M_K^2 = \frac{m_\beta^2}{\rho^2} [R_0^2] + a^2 [l] + b^2 L^2 + \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} (R_{O_1}^2 + R_{OK}^2) + m_1^2$$

式中  $\eta_i = y_i - y_0$ ;  $\xi_i = x_i - x_0$ ;  $R_{O_1}^2 = \eta_1^2 + \xi_1^2$ ;  $x_0 = \frac{[x]}{n+1}$ ;  $y_0 = \frac{[y]}{n+1}$ ;  $L$  为导线终点和起点的连线长度;  $L_x$ 、 $L_y$  分别为  $L$  在  $x$ 、 $y$  轴上的投影长度。

由上式可知, 量边误差的影响与支导线相同, 测角误差的影响比支导线减小, 因为  $[R_0^2]$  比  $[R^2]$  小。附合导线比支导线较提高了终点的点位精度。

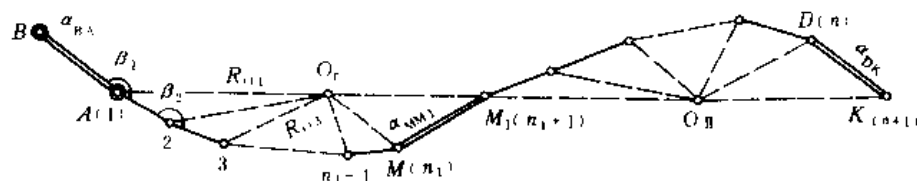


图4 多段方向附合导线

角度平差后, 等边直伸形导线终点  $K$  沿导线直伸方向的纵向误差与等边直伸形支导线的纵向误差相同, 即  $t = \pm L \sqrt{a^2/L + b^2}$ , 而横向误差比同样的支导线小了约一半, 即  $u$

$$= \pm L \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\frac{n}{12}} \quad (n \text{ 较大时})。$$

角度平差后, 任一导线边的方位角误差为:

$$M_{\alpha_i} = \pm m_\beta \sqrt{\frac{i(n+1-i)}{n+1}}$$

方向附合导线中, 经角度平差后, 方位角误差最大的边位于

导线中央,

$$M_{\alpha_{\max}} = \pm \frac{m_\beta}{2} \sqrt{n+1}$$

在支导线的终边增加一个方向控制, 则可大大提高方位角精度。

多段方向附合导线的误差 在井下导线中, 每隔一定距离加测陀螺定向边, 形成了如图4所示的多段方向附合导线。所加测的定向边的坐标方位角视为坚强的。此导线为两段方向附合导线, 分段进行角度平差。第I段导线有  $n_1$  条边, 第II段导线有  $n_2$  条边, 总边数为  $n = n_1 + n_2$ 。图中  $O_I$ 、 $O_{II}$  分别为第I、II段导线的重心。当三条陀螺定向边的定向精度相同, 定向边的方位角中误差为  $m_{\alpha_0}$ , 并考虑它们与起点坐标误差对导线终点的影响, 两段方向附合导线角度平差后, 导线终点的误差为:

$$M_{x_K}^2 = a^2 [l \cos^2 \alpha] + b^2 L_x^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} ([\eta^2]_I + [\eta^2]_{II}) + \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} [(y_1 - y_{0_I})^2 + (y_{0_I} - y_{0_{II}})^2 + (y_{n+1} - y_{0_{II}})^2] + M_{x_1}^2$$

$$M_{y_K}^2 = a^2 [l \sin^2 \alpha] + b^2 L_y^2 + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} ([\xi^2]_I + [\xi^2]_{II}) + \frac{m_{\alpha_0}^2}{\rho^2} [(x_1 - x_{0_I})^2 + (x_{0_I} - x_{0_{II}})^2]$$

$$\begin{aligned}
& + (x_{n+1} - x_{01})^2 + M_{y1}^2 \\
M_k^2 = & a^2[l] + b^2L^2 + \frac{m_0^2}{\rho^2}([R_{01}^2]_1 + [R_{01}^2]_1) \\
& + \frac{m_0^2}{\rho^2}(R_{1,01}^2 + R_{01,01}^2 + R_{01,n+1}^2 + M_{y1}^2
\end{aligned}$$

式中  $[\eta^2]_1, [\xi^2]_1$  为属于第 I 段导线的,  $\eta_i = y_i - y_{01}, \xi_i = x_i - x_{01}$ ;  $[\eta^2]_1, [\xi^2]_1$  为属于第 II 段导线的,  $\eta_i = y_i - y_{01}, \xi_i = x_i - x_{01}$ ;  $R_{0i}$  为各段  $i$  点与本段垂心的连线长度;  $K_{01,01}$  为第 I、II 段导线两重心  $O_1, O_1$  之间的长度;  $R_{01,n+1}$  为末点  $n+1$  到第 I 段导线重心  $O_1$  的长度;  $L_x, L_y$  为起、终点的联线长度  $L$  分别在  $x, y$  轴上的投影长度。

在方向附合导线中除起始方向外,测了  $N$  个坚强方向边时,则导线被分成  $N$  段,这种导线的角度平差仍按各分段独立进行。当该导线为等边直伸形时,其终点位置的纵向误差  $u^2 = a^2[l] + b^2L^2$ , 横向误差:

$$u^2 = \frac{m_0^2}{\rho^2} L^2 \frac{n^2 + 3nN + 2N^2}{12nN^2} + \frac{m_0^2}{\rho^2} L^2 \frac{2N-1}{2N^2}$$

(张固良)

### jingxia gaocheng celiang

#### 井下高程测量 (underground height measurement)

测定井下各种测点高程的测量工作。其目的是确定各种采掘巷道、硐室在竖直方向上的位置及其相互关系,以解决各种采掘工程在竖直方向上的几何问题。在井下主要巷道内精确测定高程点和永久导线点的高程,建立井下高程控制,依此为基础进行其他各种高程测量。高程测量是从井下高程基点开始,沿井底车场和主要巷道逐段向前测设的。初期多为高程支线,随着采掘工程的进展,可形成闭合路线、附合路线和井下高程网。井下高程点一般设在巷道顶、底板的稳定岩石中,每隔一定距离设置一组(由 2~3 个点组成),并统一编号。井下高程测量方法有水准测量、三角高程测量和低精度高程测量。

**水准测量** 外业主要是测出各相邻测点间的高差。施测时,水准仪置于两点之间,使前、后视距离大致相等,这样可以消除仪器水准管轴与视准轴不平行所产生的误差。由于井下黑暗,观测时要用矿灯照明水准尺,读取前后视读数。相邻两点间的高差独立进行两次观测。一段水准路线施测完毕后,要立即在现场整理外业手簿,主要检查高差计算的正确性。如果后视读数总和减去前视读数总和等于高差总和,说明计算正确。如有差错,应就地查明原因。

水准测量内业主要是计算出各测点间的高差,经

平差后,再根据起算点的高程,求出各测点的高程。

两点间的高差用式  $h = a - b$  计算,式中  $a$  为后视读数; $b$  为前视读数。由于井下巷道中的高程点有的设在顶板上,有的设在底板上,可能出现如图 1 所示的四种情况。当测点位于顶板上时,该点的水准尺读数  $a$  或  $b$  应为负值,计算高差时,读数前应冠以负号。

由于路线终点的实测高程值与理论值之间不闭合,故需进行平差。闭合路线的高程闭合差  $f_h = \sum \Delta h_i$ ; 附合路线的高程闭合差  $f_h = \sum \Delta h_i - (H_K - H_A)$ 。式中  $\sum \Delta h_i$  为实测高差总和;  $H_K$  为终点高程;  $H_A$  为起算点高程。闭、附合路线的高程闭合差符合限差规定时,可按测站数平均分配;复测水准支线取往返测高差平均值作为平差结果。

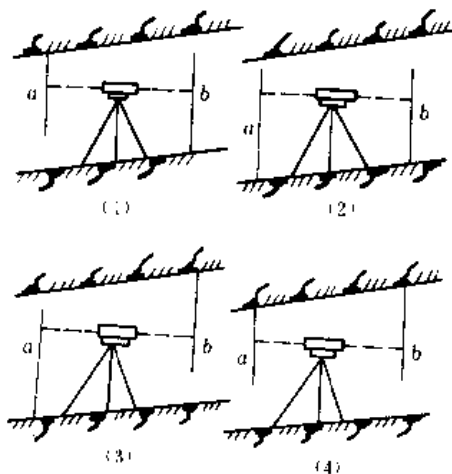


图 1 井下水准测量

水准测量是在主要水平巷道中建立井下高程控制的主要方法。两组高程点之间的高差采用往返测量的方法确定。中国《煤矿测量规程》规定:往返测量高差的较差不应大于  $\pm 50\text{mm} \sqrt{R}$ 。  $R$  为两组高程点间的路线长度, km。

**三角高程测量** 井下三角高程测量是与经纬仪导线测量一起进行的。施测方法如图 2 所示,置经纬仪于  $A$  点,瞄准  $B$  点垂线上的标志  $b$ ,测出垂直角  $\delta$ ,然后丈量导线倾斜边长  $l'$ ,量出仪器高  $i$  和视标高  $v$ 。

相邻两点间的高差用式  $h = l' \sin \delta + i - v$  计算。计算时,  $\delta$  为仰角时取值为正,  $\delta$  为俯角时取值为负;测点在顶板上时,  $i$  值和  $v$  值为负;测点在底板上时,  $i$  值和  $v$  值为正。

闭合差的计算方法与水准测量相同。闭、附合路线的闭合差按边长成正比分配,复测支线终点的高程取两次测量结果的平均值。



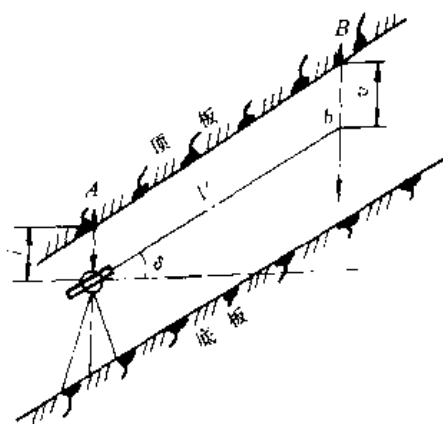


图2 井下三角高程测量

井下三角高程测量是通过倾斜或急倾斜巷道传递高程的主要方法,它的作用是把矿井各水平的高程测量联系起来。

**低精度高程测量** 在次要巷道中,如采区巷道和形状较复杂的回采工作面,高程测量精度要求较低,可用半圆仪测倾角、用皮尺丈量距离来进行。

(王锦林)

jingxia gaocheng celiang pingcha

**井下高程测量平差** (adjustment of underground height measurement) 为消除井下高程测量中由多余观测所引起的矛盾而进行的计算工作。平差计算可获得待定点高程平差值和评定测量精度。单个闭合或附合的水准路线在等精度观测时,将高程闭合差反号平均分配到各站高差上。复测水准支线的平差,是取两次测得高差的平均值作为最终结果。井下水准网可用等权代替法或多边形法平差。

**等权代替法** 实质是利用加权平均值原理,以一条假想的等权路线来代替原有的两条或多条路线,先求出结点的高程平差值,然后再求各段路线高差的改正数及各点高程平差值。

如图1,自四个坚强点起测设于I、II、III、IV、V等五条水准路线,交于结点A和B,图中箭头表示高差计算的方向。平差步骤为:

(1) 设计等权路线,求出结点A的近似高程  $H_A'$ :

$$H_A' = \frac{H_1 p_1 + H_2 p_2}{p_1 + p_2}$$

式中  $H_1$ 、 $H_2$  为由路线I和II算得的A点高程;  $p_1$ 、 $p_2$  为相应高程的权。各测站的高差为等精度观测时,则:

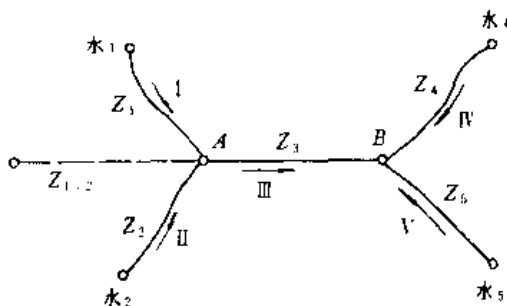


图1 水准网平差示意图

$$p_1 = \frac{1}{n_1}, \quad p_2 = \frac{1}{n_2}$$

式中  $n_1$ 、 $n_2$  分别为路线I、II测站数。 $H_A'$ 的权为:

$$p_{1,2} = p_1 + p_2 = \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}$$

令一假想的等权路线  $Z_{1,2}$  (图中虚线所示) 来代替路线I和II。假想的测站数  $n_{1,2} = 1/p_{1,2}$ 。

(2) 求算结点B的高程平差值:

$$H_B = \frac{H_{1,2,3} p_{1,2,3} + H_4 p_4 + H_5 p_5}{p_{1,2,3} + p_4 + p_5}$$

式中  $H_4$ 、 $H_5$  为由路线IV与V所算得的B点的高程;  $p_4$ 、 $p_5$  为其相应的权,  $p_4 = 1/n_4$ ,  $p_5 = 1/n_5$ ;  $H_{1,2,3}$  为由假想路线  $Z_{1,2}$  和路线III算得的B点高程;  $p_{1,2,3}$  为其相应的权,  $p_{1,2,3} = 1/(n_{1,2} + n_3)$ 。

(3) 求算各路线闭合差  $f$  及各测站的高差改正数:

$$f_4 = H_4 - H_B$$

$$f_5 = H_5 - H_B$$

$$f_{1,2,3} = H_{1,2,3} - H_B$$

由  $f_4$  和  $f_5$  算得路线IV和V上每个测站的高差改正数。将  $f_{1,2,3}$  按比例分配,求得路线  $Z_{1,2}$  的闭合差:

$$f_{1,2} = \frac{f_{1,2,3}}{n_{1,2} + n_3} n_{1,2}$$

结点A的高程平差值为  $H_A = H_A' + f_{1,2}$ 。

路线I、II、III的闭合差为:

$$f_1 = H_1 - H_A$$

$$f_2 = H_2 - H_A$$

$$f_3 = f_{1,2,3} - f_{1,2}$$

即可求得路线I、II、III每个测站的高差改正数。

(4) 精度评定,单位权中误差:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[p\delta\delta]}{n-t}}$$

式中  $\delta$  为各路线的总改正数;  $n$  为路线数;  $t$  为结点数。

平差后结点高程的中误差:

$$m = \pm \frac{\mu}{\sqrt{p}}$$

式中  $p$  为平差值的权, 对结点  $B$ ,  $p_B = p_{1,2,3} + p_4 + p_5$ ; 对结点  $A$ , 则  $p_A = p_1 + p_2 + p_{3,4,5}$ 。

多边形平差法 依最小二乘准则建立的平差方法, 常用于井下由多个闭合环构成的自由水准网的平差。优点是可以根据平差网的草图列出法方程式。整个平差计算均在草图上进行。自由网是指只有必要的起始坚强数据 (一个高程控制点)。图 2 所示的自由水准网共有三个闭合环, 以 I、II、III 表示。路线交叉点称为结点。两相邻结点间的水准路线称为环节。属于一个闭合环的环节如  $AB$ 、 $BC$ 、 $CA$  称为独立环节, 属于两个闭合环共有的环节如  $AD$ 、 $BD$ 、 $CD$  称为公共环节。环节的高差个数以  $n$  表示, 并用角码数字表示所属闭合环的号码。法方程式可对照图直接列出。在每个闭合环的方程式中首先列出本环的改正数  $v$  乘本环的总测站数, 从中减去相邻闭合环的改正数乘相应公共环节的测站数, 再加上本环的闭合差  $f$ , 其总和等于零, 即:

$$\begin{aligned} N_1 v_1 - n_{1,2} v_2 - n_{1,3} v_3 + f_1 &= 0 \\ -n_{1,2} v_1 + N_2 v_2 - n_{2,3} v_3 + f_2 &= 0 \\ -n_{1,3} v_1 - n_{2,3} v_2 + N_3 v_3 + f_3 &= 0 \end{aligned}$$

式中  $N_1 = n_1 + n_{1,2} + n_{1,3}$ ,  $N_2 = n_2 + n_{1,2} + n_{2,3}$ ,  $N_3 = n_3 + n_{1,3} + n_{2,3}$ 。

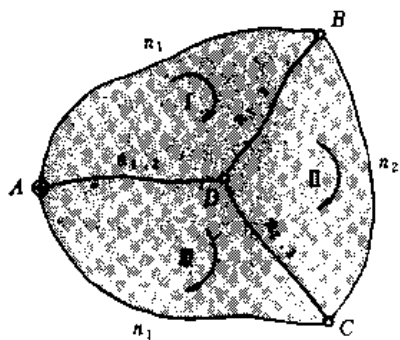


图2 自由水准网平差示意图

解法方程式, 得各闭合环的每个测站的高差改正数  $v_1$ 、 $v_2$ 、 $v_3$ 。公共环节的每个测站的高差改正数等于两个相邻闭合环的每个测站的高差改正数的差数。按所求得的高差改正数对各测站的高差进行改正, 算出各测站的高程平差值。

井下高程路线中, 既有水准高程又有三角高程时, 需考虑不同的权。各环节的权为:

$$p = \frac{\mu^2}{m_h^2}, \quad \text{而 } m_h^2 = m_{h水}^2 + m_{h经}^2$$

式中  $\mu$  为单位权中误差, 可采用任一常数;  $m_{h水}$ 、 $m_{h经}$  分别为环节中水准测量及三角高程测量所测得高差的

中误差。

用多边形法平差时, 各环节的测站数应用其权倒数  $1/p$  代替。

求得每一环节的总改正数  $\delta_h$  后, 即可计算该环节中水准测量和三角高程测量所测得的高差改正数:

$$v_{h水} = \frac{\delta_h}{1/p} \frac{1}{p_{水}}, \quad v_{h经} = \frac{\delta_h}{1/p} \frac{1}{p_{经}}$$

式中

$$p_{水} = \frac{\mu^2}{m_{h水}^2}, \quad p_{经} = \frac{\mu^2}{m_{h经}^2}$$

(张国良)

## 井下基本控制导线测量

(underground basic control traverse survey) 沿井下主要巷道布设的矿井首级经纬仪导线的测量。其目的是建立井下平面测量的基本控制。基本控制导线是井下巷道给向和测图的基础, 并能满足一般贯通工程的要求。

导线布设 按高级控制低级的原则进行。由于受井下巷道条件的限制, 平面测量控制网只能用导线布设。井下基本控制导线一般从井底车场的起始边开始, 沿井底车场、水平运输巷道、集中上下山、集中运输石门等主要巷道敷设。导线的形状多为支导线, 随着采掘工程的进展, 可形成闭合导线、附合导线和导线网。

中国《煤矿测量规程》规定, 基本控制导线按测角精度分为  $\pm 7''$  和  $\pm 15''$  两级。各矿井可根据采掘工程的实际需要和井田一翼长度的大小, 选用其中一种作为本矿井的首级平面测量控制。一般作法是, 当矿井一翼长度大于 5km 时, 选用  $\pm 7''$  级导线作为首级控制; 一翼长度小于 5km 时, 选用  $\pm 15''$  级导线作为首级控制。对于小矿井, 导线的测角精度可适当降低。

导线点设置 井下基本控制导线点一般设在顶板上或巷道顶、底板的稳定岩石中, 每隔一定距离设置一组, 每组由三个相临点组成, 以便用测角来检查测点是否移动。

水平角观测 井下基本控制导线的水平角通常采用测回法或复测法观测 (见水平角测量)。为了保证测角精度, 水平角观测采用 DJ2 和 DJ6 级经纬仪进行。测回数一般不少于两个。当导线边较短时, 对中误差对测角精度影响较大, 可采用多次对中测角求平均值的办法, 来保证测角的精度。多次 (一般为 2~3 次) 对中测角时, 每次对中测一个测回。

仪器竖轴倾斜对水平角测量的影响随仪器视线倾角的增大而增大, 故在倾角较大的巷道中测角时, 要严格整平经纬仪。

**边长丈量** 井下基本控制导线的边长可用钢尺或光电测距仪测量。

钢尺量边时,在平巷中,可用经纬仪定出水平线,直接丈量测点间的水平距离;在斜巷中,可沿经纬仪视线丈量倾斜距离,并测出垂直角,然后化算为水平距离。为了检核,同一条边往返各量一次。量边时加一定拉力,并测记温度。

用光电测距仪量边的导线称为光电测距导线。它的特点是量边精度高、速度快、劳动强度小。光电测距仪量边时,同一边长往返各观测一次,一次观测一般不少于两个测回。作业方法和内业计算见光电测距。

**导线的延长** 随着井下巷道的进展,需要及时延长基本控制导线。在每次延长之前,对上次测量的最后一个水平角,按相应的测角精度要求,进行检查测量。所测角度与原角度值的互差不超过  $2\sqrt{2}m_\beta$  ( $m_\beta$  为导线的测角中误差) 时,说明测点位置可靠,可以接测。

**内业计算** 内业计算的目的是求出导线边的坐标方位角和导线点的坐标。计算工作包括:检查外业手簿;计算边长改正数和往返丈量边长的平均值;求出角度闭合差并进行分配;推算各边的坐标方位角;计算坐标增量,求出坐标增量闭合差并进行分配;计算各导线点的坐标。

**边长计算** 导线的实测边长需加入钢尺比长、温度和垂曲改正数,简称三项改正。倾斜边长经三项改正后,还应化算为水平边长。

钢尺比长改正数  $\Delta l_k = (\Delta k/L)l$ 。 $\Delta k$  为钢尺全长的比长改正数; $L$  为整钢尺的长度; $l$  为实测边长。

温度改正数  $\Delta l_t = \alpha l(t - t_0)$ 。 $\alpha$  为钢尺的线膨胀系数; $t$  为量边时的钢尺温度; $t_0$  为钢尺比长时的标准温度。

水平边长的垂曲改正数  $\Delta l_l = \Delta L_l (l^3/L^3)$ 。 $\Delta L_l$  为悬空丈量水平边长时的整钢尺垂曲改正数,  $\Delta L_l = -\frac{q^2 L^3}{24p^2}$ 。式中  $q$  为钢尺 1m 长度的重量, $p$  为钢尺量边时所加的拉力。

倾斜边长的垂曲改正数  $\Delta l_{lk} = \Delta l_l \cos^2 \delta$ 。 $\delta$  为倾斜边的垂直角。

水平边长用式  $l_H = l' \cos \delta$  计算。其中  $l'$  为经三项改正后的倾斜边长。

为了满足井下重要采矿工程的要求,导线边长有时需加入化归到投影水准面和高斯投影平面的改正数。投影水准面改正数  $\Delta l_k = -H_m l/R$ 。 $H_m$  为导线边的平均高程,m; $l$  为水平边长,m; $R$  为地球平均曲率半径 ( $R=6371\text{km}$ )。高斯投影平面改正数  $\Delta l_R =$

$\frac{y_m^2}{2R^2}$ 。 $y_m$  为导线边的平均横坐标。

**角度闭合差分配** 闭合差一般指实测值与理论值之间的差值。闭合导线的角度闭合差:

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{测}} - (n-2)180^\circ$$

或  $f_\beta = \sum \beta_{\text{测}} - (n+2)180^\circ$

式中  $\sum \beta_{\text{测}}$ 、 $\sum \beta_{\text{理}}$  分别为导线内角总和及外角总和; $n$  为导线中角的个数。附合导线的角度闭合差:

$$f_\beta = \sum \beta_{\text{测}} - n180^\circ - (\alpha_{\text{终}} - \alpha_{\text{始}})$$

或  $f_\beta = \sum \beta_{\text{测}} - n180^\circ - (\alpha_{\text{终}} - \alpha_{\text{始}})$

式中  $\sum \beta_{\text{测}}$ 、 $\sum \beta_{\text{理}}$  为导线左角总和及右角总和; $\alpha_{\text{始}}$ 、 $\alpha_{\text{终}}$  为导线起始边和最终边的坐标方位角; $n$  为角的个数。复测支导线的角闭合差:

$$f_\beta = \alpha_1 - \alpha_2$$

式中  $\alpha_1$  和  $\alpha_2$  为第一次和第二次测量求得的导线终边的坐标方位角。

在井下导线网中,有时形成一种空间交叉闭合导线(闭合环中,两导线边在空中交错)。这种闭合导线,当一律沿前进方向测左角或右角时,每经过一次空间交叉点后,便由内角图形变成外角图形或者相反。若空间交叉闭合导线的内角图形为  $P$  个,外角图形为  $K$  个,则交叉点为  $(P+K-1)$  个。此时,内外角图形的全部角度的理论值总和用式  $\sum \beta_{\text{理}} = 180^\circ [n - 2(P-K)]$  计算。如果根据空间交叉闭合导线的全部实测角度值求出其总和  $\sum \beta_{\text{测}}$ ,则可按式  $f_\beta = \sum \beta_{\text{测}} - \sum \beta_{\text{理}}$  计算出空间交叉闭合导线的角度闭合差。

各种导线的角度允许闭合差的计算公式为:

$$\text{闭合导线} \quad f_{\beta\text{允}} = 2m_\beta \sqrt{n}$$

$$\text{复测支导线} \quad f_{\beta\text{允}} = 2m_\beta \sqrt{n_1 + n_2}$$

$$\text{附合导线} \quad f_{\beta\text{允}} = 2\sqrt{m_{\alpha_0}^2 + m_{\alpha_n}^2 + nm_\beta^2}$$

式中  $m_\beta$  为测角中误差; $n$  为闭、附合导线的测站数; $m_{\alpha_0}$ 、 $m_{\alpha_n}$  为附合导线起始边和最终边的坐标方位角中误差; $n_1$ 、 $n_2$  为复测支导线往、返测的测站数。

闭、附合导线的角度闭合差按测站数平均分配;复测支导线角度闭合差的分配方法见井下导线测量平差。

**坐标方位角计算** 导线边的坐标方位角用式  $\alpha_i = \alpha_{i-1} + \beta_{\text{测}} \pm 180^\circ$  计算。 $\alpha_{i-1}$  为后一边的方位角; $\beta_{\text{测}}$  为导线前进方向左侧的水平角。如果观测的水平角是导线的右角,可用  $-\beta_{\text{测}}$  代替  $+\beta_{\text{测}}$  进行计算。

**坐标增量闭合差分配** 各种导线坐标增量闭合差的计算式为:

$$\text{闭合导线} \quad f_x = \sum \Delta x, \quad f_y = \sum \Delta y$$

$$\text{附合导线} \quad f_x = \sum \Delta x - (x_n - x_0)$$



$$f_y = \sum \Delta y - (y_n - y_0)$$

$$\text{复测支导线 } f_x = \sum \Delta x_1 - \sum \Delta x_2$$

$$f_y = \sum \Delta y_1 - \sum \Delta y_2$$

式中  $\Delta x$ 、 $\Delta y$  为坐标增量，计算方法见平面坐标。

导线测量的精度用导线全长相对闭合差表示，即：

$$\frac{1}{T} = \frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{\sum l}$$

式中  $\sum l$  为闭、附合导线各边长度总和；复测支导线为单程长度的 2 倍。

中国煤矿测量采用的导线精度指标为： $\pm 7''$ 级基本控制导线，闭、附合导线的允许相对闭合差为  $1/8000$ ； $\pm 15''$ 级基本控制导线，闭、附合导线的允许相对闭合差为  $1/6000$ ；复测支导线的允许相对闭合差，相应地为  $1/6000$  和  $1/4000$ 。

闭、附合导线的坐标增量闭合差按与边长成正比的原则分配。复测支导线坐标增量闭合差的分配方法见井下导线测量平差。

坐标计算 导线点的坐标用式：

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_{i-1} + \Delta x_{(i-1)-i} \\ y_i &= y_{i-1} + \Delta y_{(i-1)-i} \end{aligned} \right\}$$

计算。  $x_i$ 、 $y_i$  为所求点的坐标； $x_{i-1}$ 、 $y_{i-1}$  为后一点的坐标。

(王绍林)

## juli celiang

**距离测量** (distance measurement) 测定两测点之间直线长度的工作。可以用尺直接丈量，也可用视距法或光电测距法测量。

**直接丈量** 用尺有因瓦基线尺、钢卷尺、皮（或布）卷尺等。早期测量工作中，曾用测绳、竹尺或测链等工具直接量距。用钢卷尺测量距离时，精度可达  $1:20000$ 。因瓦基线尺是用因瓦合金钢（镍 36%，铁 64%）制成的线状尺或带状尺。常用的因瓦基线尺长 24m，一套尺一般有四根主尺，每根尺的两端有 8cm 长的三角形断面的分划尺，另有一根 8m（也有 4m 或 6m）长的补尺，还有拉力架、重锤和标志架等附件。因瓦基线尺量距精度可达百万分之一以上。因瓦基线尺丈量基线的方法目前已逐渐被光电测距所代替。布卷尺只有厘米刻划，用于低精度丈量。

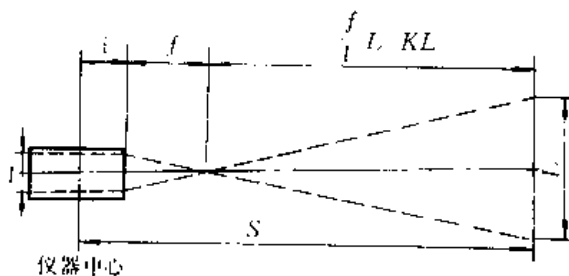
为鉴定量尺刻划线间的长度，需建立比长场地（或比长台），精密测定比长标志间的距离。丈量用的尺须定期与标准长度作比长鉴定，确定尺面刻划线间的真长，以便对丈量结果加比长改正。

钢卷尺丈量一个尺段时，将卷尺一端的厘米刻划对准点的标志，同时在另一尺端对准标志并读出毫米

刻划值。两端读数之差即为量得的该尺段长度。丈量时，用拉力计给一定的拉力，并测出尺的温度。为避免地面起伏的影响，尺子需悬空丈量。丈量成果应加比长、拉力、温度等改正数。尺段倾斜时，还要测量两端点的高差或倾角，以便归算成水平距离。距离大于尺长时，要分段丈量。各分段点须标定在两测点间直线方向上。

因瓦基线尺丈量基线时，要整置专用场地，在基线方向上设立各尺段点，各尺段长应等于因瓦基线尺的尺长。剩余尺段用补尺丈量。丈量时，在各尺段上架设标志架，尺端悬挂重锤给以拉力，并测记温度。（见基线测量）

**视距法测距** 利用带视距丝的望远镜照准测点上的标尺，以视距丝读出标尺读数算得距离。如图表示视距原理， $L$  为视距丝在标尺上的读数； $l$  为视距丝间距； $f$  为物镜焦距； $i$  为物镜至仪器旋转轴中心的距离； $C$  为加常数，等于  $i+f$ ； $K$  为乘常数，等于  $f/l$ 。两点间的距离  $S = KL + C$ 。根据视距仪的加常数和乘常数计算仪器站点至立尺点的距离。视距法的视距一般不宜超过 200m，相对精度为  $1:200$  至  $1:300$ 。用于要求精度较低的距离测量。



视距仪原理

双象视距是望远镜视场可构成标尺的双象，根据双象间距可测定距离。

无标尺视距不必在待定点上立标尺，它利用两个光学装置观测目标，根据观测的折角和光学装置的间距（基线）可确定仪器至目标的距离。

**横基尺视差法** 的横基尺两端有固定标志，间距为 2m。量距时，在一端测点上整置一经纬仪，将横基尺水平横架在另一端测点上，并与两点连线垂直。经纬仪测出横基尺两端标志之间的夹角，即可计算两点间距离。

**电磁波测距** 利用电磁波作载波，经调制，用直接或间接的方法测定它在测程两端点间传送所需要的时间，即可由电磁波传播速度计算出该测程的距离。用微



波作载波时,称微波测距。用光波作载波时,称光电测距。电磁波测距有两种方式,脉冲式测距是测出光脉冲经过测程的时间后,算出距离。相位式测距用多级频率(波长)的调制光测定不足整周期的相位差。长的波长用于粗测测程距离,短的波长用于精测尾数(相位移)。

相位式测距也可用连续可调频率的调制波,将相位差调至零,按整波数确定距离。目前,光电测距仪常以激光作光源。(见光电测距)

(胡昌炘)

## K

kaicai chenxian tudi fuken celiang

**开采沉陷土地复垦测量** (reclamation survey of mining subsidence) 对开采所造成的地表塌陷破坏区内采取整治措施,使其恢复到可供利用状态的测量工作,主要包括复垦区建立控制网、被破坏土地的地形测量、地面复垦时的测量、矿区矸石山的清理和平整测量。

**复垦区建立控制网** 具有控制全局、限制测量误差累积的作用,是地下或露天开采引起的地表破坏区内进行复垦时各项测量工作的依据,分为平面控制和高程控制。平面控制点的布设采用导线测量、交会点法或全球定位系统测量方法建立;高程控制采用水准测量或三角高程测量的方法建立。作业时先根据测区情况和测图要求,选定图根控制点的位置并用标桩标定,然后进行测量。测量成果合格后,用近似平差方法进行成果处理,计算图根控制点的平面坐标和高程。

**被破坏土地的地形测量** 为绘制复垦前实际地物和地貌的图纸资料所进行的测量工作。首先建立测图控制网,然后进行碎部测量。测绘地物、地貌的作业叫碎部测量,即测绘地物的轮廓点或中心位置、地貌的坡度变换点或方向变换点的平面位置和高程,将有关地物、地貌按比例尺用规定符号描绘在图上。根据控制点测定碎部点的平面位置,最常用的方法是极坐标法。碎部点的高程通常用视距测量方法。测图比例尺根据测图区范围大小、地形、复垦工程设计及完成复垦工程所需解决的问题而定。一般采矿破坏地区测图比例尺用 $1:1\,000\sim 1:5\,000$ 。为提高复垦地形的直观性,复垦后地形图可用区别于原地形图的颜色表示。(见矿区地形测量)

**地面复垦时的测量** 用废石充填开采过的露天坑或移动盆地、塌陷坑时的矿山测量工作。

(1) 充填露天坑。主要在于测定面积、深度和在平面图上的形状。在矿山测量资料的基础上,计算采空区容量和确定所需要的充填材料体积。废弃露天矿坑的充填及复垦平面的平整都应严格按设计进行。此时矿

山测量的任务是定期进行测量、绘制平面图及剖面图。实际充填工程量用相隔 $25\sim 50\text{m}$ 的平行剖面法计算。验收时,检查充填后的地面高程、充填边界和新建平面的参数是否符合设计要求。

(2) 充填移动盆地和塌陷坑。复垦工程开始前要进行比例尺 $1:500\sim 1:2\,000$ 的地形测量,它是设计的基础资料。在地形图上确定地表采动范围和确定充填岩土量。充填边界、顺序甚至高度都标在打在地上的木桩上。设计点的平面位置用极线法确定,其高程用几何水准方法确定。

各种不利的地形被充填和平整后,根据测量结果,对全部工程进行验收,计算土方工程量,分析完成的工程质量和充填厚度。

**矿区矸石山的清理和平整测量** 为了编制矸石山复垦设计,需测绘矸石山等值线平面图。清理矸石山时,定期对矸石山的断面用视距测量方法测定,并测定几个特征点高程。根据测量结果作比例尺为 $1:500$ 的矸石山断面图,计算断面平均高度,用求积仪或其他方法计算断面体积。矸石场的平整验收,主要进行工程水准测量和长度测量,其数值必须与设计相符。

(张国良 周国铨)

kaicai chenxian yuji

**开采沉陷预计** (prediction of mining subsidence) 地下煤层开采前,对计划进行开采的区域,根据其地质采矿条件,对开采后地表可能发生的移动和变形值进行计算并绘制移动和变形值的等值线图或剖面图,又称地表移动预计。它包括计算地表下沉、水平移动、倾斜、曲率和水平变形。这些移动和变形值可以是主断面的,也可以是任意断面或任意位置沿任意方向的;可以是移动稳定后地表最终的移动和变形值或其最大值,也可以是采动过程中的移动变形值。开采沉陷预计的目的是在建(构)筑物下采煤时,利用预计结果定量地判断地下开采对建(构)筑物的影响程度,作为确定能否开采和采取哪些技术安全措施的依据。

据。开采沉陷预计方法可分为影响函数法和剖面函数法两类。

(1)影响函数法。将整个工作面开采后对地表移动的影响看作为无数个微小单元开采影响的总和,并用影响函数的形式表示。根据这个理论为基础而建立起来的开采沉陷计算方法叫影响函数法,如概率积分函数。

(2)剖面函数法。用剖面函数对不同地质采矿条件下开采矩形工作面地表移动盆地主断面内移动和变形进行计算的方法,如负指数函数、双曲函数。

中国常用的开采沉陷预计方法有:概率积分法(属影响函数法)、负指数函数法和典型曲线法(属剖面函数法)三种。

**概率积分法** 利用概率积分函数建立的公式,预计地表移动变形值的方法。

**理论基础** 受采动的岩体沿各方向是不连续的介质,可近似地看成是松散、能随机运动的单元体组合。岩层和地表移动可用图 1a 所示的随机介质力学模型来描述。在岩体松散单元沿水平方向(横向)为各向同性时,当最低层有一单元被采出,其上部各层岩体单元的下沉概率列于图 1b,它符合正态分布。单元下沉盆地  $W_c$  可写成:

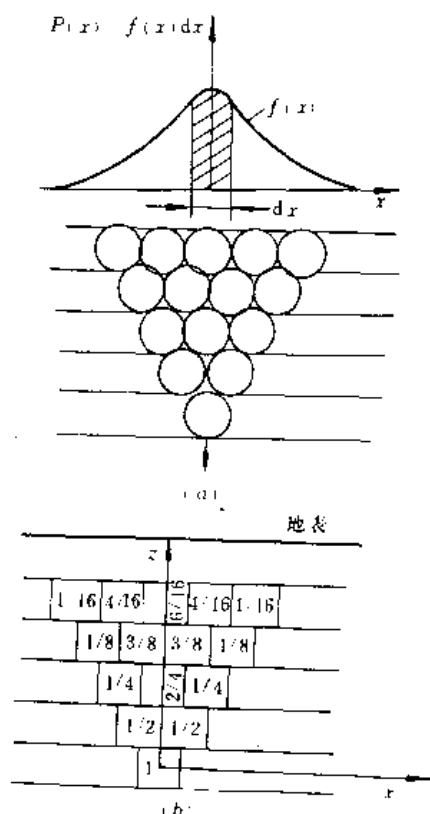


图 1 上部各层岩体单元的下沉概率模型

$$W_c = \frac{1}{r} \exp \left[ -\pi \left( \frac{x}{r} \right)^2 \right]$$

式中  $r$  为主要影响半径。

设单元开采影响岩石发生的变形很小,在整个岩石下沉的弯曲带内(直至地表)岩石变形体积保持不变。对于对称分布条件(正态分布),开采中心线上各点不产生水平移动,单元水平移动盆地  $u_c$  为:

$$u_c = B \frac{\partial W_c}{\partial x}$$

式中  $B$  为水平移动比例系数。

半无限开采时的地表移动计算: 设工作面倾向长足够大,走向方向一侧为未采煤层,另一侧为采空区至无穷远(图 2,即已达充分采动条件),坐标原点设在计算边界(考虑拐点偏移),坐标轴方向指向采空区。则走向主断面的移动和变形计算式为:

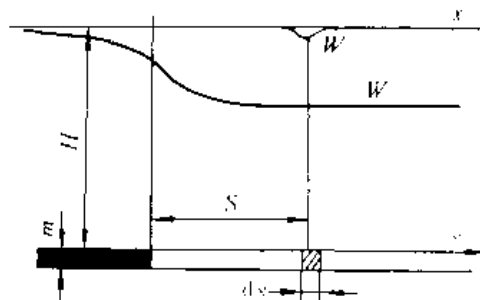


图 2 半无限开采的下沉盆地断面

$$\left. \begin{aligned} \text{下沉 } W(x) &= \frac{W_{cm}}{2} \left[ \operatorname{erf} \left( \sqrt{\pi} \frac{x}{r} \right) + 1 \right] \\ \text{倾斜 } i(x) &= \frac{W_{cm}}{r} \exp \left[ -\pi \left( \frac{x}{r} \right)^2 \right] \\ \text{曲率 } k(x) &= -2\pi \frac{W_{cm}}{r^2} \left( \frac{x}{r} \right) \exp \left[ -\pi \left( \frac{x}{r} \right)^2 \right] \\ \text{水平移动} \\ u(x) &= b W_{cm} \exp \left[ -\pi \left( \frac{x}{r} \right)^2 \right] \\ \text{水平变形} \\ \epsilon(x) &= -2\pi b \frac{W_{cm}}{r} \left( \frac{x}{r} \right) \exp \left[ -\pi \left( \frac{x}{r} \right)^2 \right] \end{aligned} \right\}$$

$$\left. \begin{aligned} \text{最大下沉值} \quad W_{cm} &= m q \cos \alpha \\ \text{最大倾斜值} \quad i_{cm} &= \frac{W_{cm}}{r} \\ \text{最大曲率值} \quad k_{cm} &= 1.52 \frac{W_{cm}}{r^2} \\ \text{最大水平移动值} \quad u_{cm} &= b W_{cm} \\ \text{最大水平变形值} \quad \epsilon_{cm} &= 1.52 b \frac{W_{cm}}{r} \end{aligned} \right\}$$

式中  $m$  为开采厚度;  $q$  为下沉系数;  $b$  为水平移动系

数;  $\alpha$  为煤层倾角;  $\theta$  为影响传播角;  $r$  为主要影响半径;  $x$  为地表点的坐标 (走向方向);  $\operatorname{erf}\left(\sqrt{\pi} \frac{x}{r}\right) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x \exp(-\lambda^2) d\lambda$ ,  $\left(\lambda = \sqrt{\pi} \frac{x}{r}\right)$  为误差积分或概率积分。

倾向主断面上的下沉、倾斜、曲率计算式与走向主断面的相同。坐标原点设在计算边界 (考虑拐点偏移及影响传播角), 坐标轴指向采空区, 则水平移动和水平变形的计算式为:

水平移动

$$u_i(y) = u_{cm} \exp\left[-\pi\left(\frac{y}{r_i}\right)^2\right] \pm W(y) \operatorname{ctg} \theta$$

水平变形

$$\epsilon_i(y) = \epsilon_{cm} \left\{ -4.13 \frac{y}{r_i} \exp\left[-\pi\left(\frac{y}{r_i}\right)^2\right] \right\} \pm i(y) \operatorname{ctg} \theta$$

式中  $y$  为地表点的坐标 (倾向方向);  $r_i$  ( $i=1$  或  $2$ ) 分别表示以下山或上山为开采边界系统中相应的主要影响半径。在计算下山半个盆地时取“+”号, 在计算上山半个盆地时取“-”号。

有限开采时的地表移动计算 在概率积分法中, 常用叠加法来计算有限开采的地表移动变形值。此时移动和变形计算式为:

$$\begin{aligned} W(x) &= \frac{W_{cm}}{2} \left[ \left( \operatorname{erf}\left(\sqrt{\pi} \frac{x}{r}\right) + 1 \right) - \left( \operatorname{erf}\left(\sqrt{\pi} \frac{x-L}{r}\right) + 1 \right) \right] \\ &= W_1(x) - W_2(x-L) \\ i(x) &= i_1(x) - i_2(x-L) \\ k(x) &= k_1(x) - k_2(x-L) \\ u(x) &= u_1(x) - u_2(x-L) \\ \epsilon(x) &= \epsilon_1(x) - \epsilon_2(x-L) \end{aligned}$$

式中带有下标 1 和 2 的  $W$ 、 $i$ 、 $k$ 、 $u$ 、 $\epsilon$ , 对于倾向主断面分别代表下山和上山方向, 对于走向主断面分别代表走向左侧和右侧方向的半无限开采的地表移动和变形计算式。

有限开采时的最大下沉值为:

$$\begin{aligned} W_{cm}^0 &= \frac{W_{cm}}{2} \left[ \operatorname{erf}\left(\frac{\sqrt{\pi}}{r} \frac{L}{2}\right) - \operatorname{erf}\left(-\frac{\sqrt{\pi}}{r} \frac{L}{2}\right) \right] \end{aligned}$$

式中  $L=L_0-2S$  为计算开采宽度;  $L_0$  为工作面实际开采宽度;  $S$  为拐点偏移距。

上述计算也可用图 3 所示的图解法来取得。

用概率积分法可以预计地表移动盆地主断面内的移动和变形, 也可预计地表任意点沿任意方向的移动



图 3 有限开采时用图解法得出的下沉曲线

和变形, 还可以演化成积分格网法为图解法来预计地表的移动和变形值。

特定参数求取方法:

(1) 拐点偏移距  $S$ 。地表达到充分采动条件时, 下沉盆地主断面上下沉值为  $0.5W_{cm}$ 、倾斜为最大值、曲率值为零的三个点位平均值  $x$  或  $y$  为拐点。拐点向煤层投影 (走向主断面按  $90^\circ$ , 倾向主断面按开采影响传播角  $\theta$  投影), 其投影点至开采边界的沿煤层距离  $S$  即为拐点偏移距。

(2) 主要影响角正切  $\operatorname{tg} \beta$ 。首先求取主要影响半径  $r$ , 在充分采动条件下下沉值为  $0.5W_{cm}$  点至最大下沉点的距离即为主要影响半径。主要影响角正切为采深与主要影响半径的比值, 即  $\operatorname{tg} \beta = H/r$ 。

地表移动参数  $q$ 、 $b$ 、 $S$ 、 $\operatorname{tg} \beta$  和开采影响传播角  $\theta$ , 可以借助于电子计算机依最小二乘准则与实测下沉和水平移动曲线拟合求得。

负指数函数法 用底数为  $e$ , 指数为负值的数学函数来预计由地下采煤而引起的地表移动盆地内移动和变形分布的一种方法。这是一种用经验公式来描述地表移动和变形分布的方法, 它属于剖面函数预计方法的一种。

基本表达式

$$\begin{aligned} \text{下沉} \quad W(x) &= W_{cm} \exp(-az^n) \\ \text{倾斜} \quad i(x) &= W_{cm} a n z^{n-1} \exp(-az^n) / H \\ \text{曲率} \quad k(x) &= W_{cm} a n z^{n-2} (a n z^{n-1} - n + 1) \exp(-az^n) / H \\ \text{水平移动} \quad u(x) &= B i(x) + W(x) \operatorname{ctg} \theta \\ \text{水平变形} \quad \epsilon(x) &= B k(x) + i(x) \operatorname{ctg} \theta \\ z &= c \mp x/H \end{aligned}$$

式中  $W_{cm}$  为充分采动时的最大下沉值;  $H$  为开采深度;  $x$  为地表点的坐标, 以开采边界为坐标原点;  $a$  为横向发育系数;  $n$  为形态系数;  $c$  为最大下沉点的位置系数;  $B$  为水平移动比例系数;  $\theta$  为最大下沉角, 计算走向剖面时, 取  $\theta=90^\circ$ 。上式中  $\mp$  号规定为:  $x$  轴指向采空区时取“-”号, 指向煤柱时取“+”号。系数  $a$ 、 $n$ 、 $c$  根据实测资料求得, 如没有实测资料可用类比法求得。



$a$ 、 $n$  和  $c$  为负指数函数法的特定参数。

地表移动和变形的计算 设地表点的坐标系统如图 4 所示:坐标原点在采空区的左下角,  $x$  轴与煤层走向重合,  $y$  轴指向煤层的上山方向;  $x$  轴按反时针旋转  $90^\circ$  为  $y$  轴。

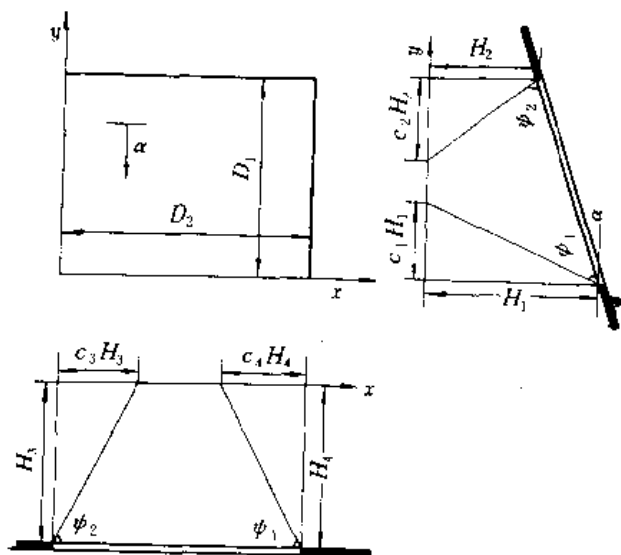


图 4 全盆地计算的坐标系

充分采动时倾向主断面上的移动和变形计算式为:

$$\begin{aligned} W(y) &= W_{cm}[\exp(-a_1 z_1^n) + \exp(-a_2 z_2^n) - 1] \\ &= W_1(y) + W_2(y - D_1) - W_{cm} \\ i(y) &= i_1(y) + i_2(y - D_1) \\ k(y) &= k_1(y) + k_2(y - D_1) \\ u(y) &= u_1(y) + u_2(y - D_1) - W_{cm} \operatorname{ctg} \theta \\ \epsilon(y) &= \epsilon_1(y) + \epsilon_2(y - D_1) \\ z_1 &= c_1 - y/H_1 \\ z_2 &= c_2 + (y - D_1)/H_2 \end{aligned}$$

充分采动时走向主断面上的移动和变形计算式为:

$$\begin{aligned} W(x) &= W_{cm}[\exp(-a_3 z_3^n) + \exp(-a_4 z_4^n) - 1] \\ &= W_3(x) + W_4(x - D_1) - W_{cm} \\ i(x) &= i_3(x) + i_4(x - D_2) \\ k(x) &= k_3(x) + k_4(x - D_2) \\ u(x) &= u_3(x) + u_4(x - D_2) - W_{cm} \operatorname{ctg} \theta \\ \epsilon(x) &= \epsilon_3(x) + \epsilon_4(x - D_2) \\ z_3 &= c_3 - x/H_3 \\ z_4 &= c_4 + (x - D_1)/H_4 \end{aligned}$$

上列各式中  $W$ 、 $i$ 、 $k$ 、 $u$ 、 $\epsilon$ 、 $H$ 、 $x$ 、 $a$ 、 $c$  的下标 1、2、3 和 4 分别代表下山、上山、走向左侧和走向右侧方向

的参数;  $D_1$  为采空区沿倾向方向的水平长度;  $D_2$  为采空区沿走向方向的长度; 其他符号说明同上。

对于非充分采动或地表移动盆地内 (包括充分采动和非充分采动) 任意点的移动和变形值, 利用任意点沿任意方向移动和变形预计方法计算。

特定参数求取方法 有图解法和电算法两种。

(1) 图解法。根据实测值, 利用对数坐标纸将基本表达式中下沉表达式用对数化为线性方程, 并用图解的方法求出特定参数  $a$ 、 $n$  和  $c$  的值。该法只能利用充分采动条件下的实测资料来求取参数, 非充分采动的资料不能利用。

(2) 电算法。首先将基本表达式中下沉表达式用泰勒级数展开化为线性方程, 然后在计算机内用迭代法解出特定参数的值。该法可以同时解出 4 个 (下山、上山和走向两侧) 方向的参数, 充分或非充分采动的实测资料都可使用, 还可根据非充分采动的实测资料解出充分采动条件下的最大下沉值。

在确定参数时, 除考虑曲线的拟合程度外, 需注意以下几点:

(1) 特定参数  $a$ 、 $n$  和  $c$  都是指充分采动条件下的参数, 不求非充分采动条件下的参数。对于非充分采动条件下的预计, 仍用充分采动条件下的参数并通过叠加原理进行计算。

(2) 形态系数  $n$  主要与岩性有关, 它必须大于 2.0, 一般以 2.4~3.2 为宜, 对于软弱性覆岩为 2.4~2.6, 中硬性覆岩为 2.6~2.9, 坚硬性覆岩为 2.9~3.2。对于一个矿区来说岩性相差不大,  $n$  可视为定值。在求参数时, 根据初算值先确定矿区的  $n$  值, 然后再求其他参数。

(3) 位置系数  $c$  与回采工作面的临界尺寸有关。令  $\eta_1$  和  $\eta_2$  分别为倾向和走向临界尺寸与平均采深的比值, 则:

$$\begin{aligned} \eta_1 &= \frac{2(c_1 + c_2)}{2 + (c_1 - c_2) \operatorname{tg} \alpha} \\ \eta_2 &= c_3 + c_4 \end{aligned}$$

在一般情况下, 对于中硬性覆岩  $\eta$  在 1.0~1.4 之间。

(4) 位置系数  $c$  与充分采动角  $\phi$ 、最大下沉角  $\theta$  的关系如下:

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \theta &= \frac{2 + (c_2 - c_1) \operatorname{tg} \alpha}{c_2 - c_1 - 2c_1 c_2 \operatorname{tg} \alpha} \\ c_1 &= \operatorname{ctg}(\phi_1 + \alpha) \\ c_2 &= \operatorname{ctg}(\phi_2 - \alpha) \\ c_3 &= \operatorname{ctg} \phi_3 \\ c_4 &= \operatorname{ctg} \phi_4 \end{aligned}$$

负指数函数法是中国学者在总结和分析中国主要

矿区的地表移动实测资料的基础上,于1963年提出,经过改进形成的,较适用于中国地表移动的特性。负指数函数法有3个特定参数 $a$ 、 $n$ 和 $c$ ,计算曲线能与实测曲线吻合较好。它以开采边界为坐标原点以及用开采深度作为基数,这对某一采区来说,其值是固定的,从而减少了预计中的随意性。由于它属于剖面函数法,目前只能应用于矩形采区的预计,对非矩形采区的预计只能是近似的。其计算公式较复杂,计算工作量大。

**典型曲线法** 以大量实测资料为基础,将地质和采矿条件相同的观测数据,经无因次化综合而成的移动和变形的典型曲线。用这种曲线预计地表移动和变形值的方法称为典型曲线法。从实测资料中可分别求得下沉、倾斜、曲率、水平移动和水平变形5种典型曲线,也可只求得下沉和水平移动两曲线,倾斜、曲率和水平变形曲线按它们与下沉和水平移动之间的数学关系求得。

**典型曲线的建立** 将地质采矿条件和采动程度基本相同,沿走向和倾向主断面的实测下沉曲线(或其他移动和变形曲线)进行无因次化。无因次曲线横坐标沿倾向为 $x/L_1$ 、 $x/L_2$ ,沿走向为 $x/L_3$ ( $L_1$ 、 $L_2$ 和 $L_3$ 分别为下山、上山和走向方向主断面半盆地长,即最大下沉点至下沉值为10mm点的距离);纵坐标为 $W(x)/W_m^0$ ,如图5所示( $W_m^0$ 为实测的最大下沉值)。取地质采矿条件及采动程度相同的一组无因次下沉曲线的平均曲线即得典型曲线。典型曲线可用曲线表示,也可列表以数字方式表示(见表)。

表5 矿区下沉典型曲线分布系数表

| 断面 | 倾向  | 走向  | 0.1  | 0.2  | 0.3  | 0.4  | 0.5  |
|----|-----|-----|------|------|------|------|------|
| 下山 | 0.3 | 0.3 | 0.08 | 0.14 | 0.20 | 0.27 | 0.33 |
| 上山 | 0.3 | 0.3 | 0.08 | 0.14 | 0.20 | 0.27 | 0.33 |
| 走向 | 0.3 | 0.3 | 0.08 | 0.14 | 0.20 | 0.27 | 0.33 |
| 下山 | 0.3 | 0.3 | 0.08 | 0.14 | 0.20 | 0.27 | 0.33 |
| 上山 | 0.3 | 0.3 | 0.08 | 0.14 | 0.20 | 0.27 | 0.33 |
| 走向 | 0.3 | 0.3 | 0.08 | 0.14 | 0.20 | 0.27 | 0.33 |

采动程度用采动系数表示。沿倾向和走向方向的采动系数分别为:

$$n_1 = \frac{K_1 D_1}{H_0} \quad n_3 = \frac{K_3 D_2}{H_0}$$

式中 $D_1$ 和 $D_2$ 分别为沿倾向和走向方向的采宽; $K_1$ 和 $K_3$ 分别为沿倾向和走向方向的采区覆岩岩性的系数,

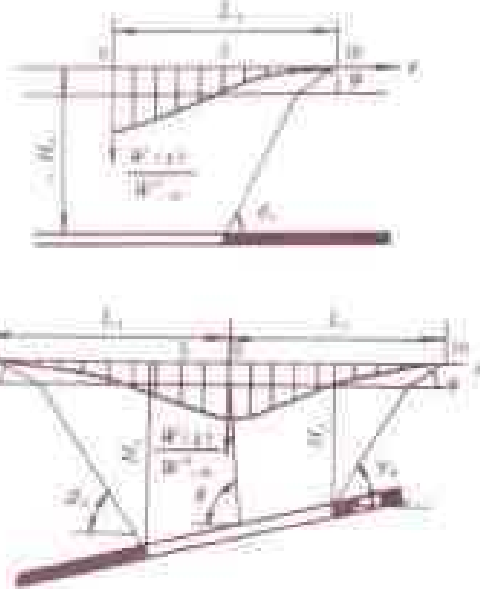


图5 下沉无因次曲线

一般为0.7~0.9。其他移动和变形典型曲线也可用同样的方法建立。

典型曲线法是建立在大量实测资料基础上并借助于图解的一种经验方法。其优点是应用于相同条件地表移动预计时精度较高,计算也较简单。缺点是:①缺乏理论指导,不涉及任何岩层移动力学本质,因此局限性较大;②需要大量实际观测工作,费工费时。新矿区在短期内无条件建立大量的观测站并完成观测工作。

#### 共用参数的确定

下沉系数 $q$  在开采倾斜和缓倾斜煤层条件下,当地表达到充分采动时,地表最大下沉值 $W_m$ 与煤层垂线厚度 $m \cos \alpha$ 的比值,即为下沉系数:

$$q = \frac{W_m}{m \cos \alpha}$$

在用典型曲线法时,根据非充分采动时的最大下沉值 $W_m^0$ ,按下式求下沉系数:

$$q = \frac{W_m^0}{m \cos \alpha \sqrt{n_1 n_3}}$$

$$n_1 = K_1 D_1 / H_0$$

$$n_3 = K_3 D_2 / H_0$$

$$K_1 = \frac{\sin \theta \sin \phi_1 \sin \phi_2}{\sin(\theta + \alpha) \sin(\phi_1 + \phi_2)}$$

$$K_3 = 0.5 \tan \phi_3$$

式中 $\phi_1$ 、 $\phi_2$ 和 $\phi_3$ 分别为工作面下山、上山和走向方向的充分采动角,其他符号见前。

水平移动系数 $b$  地达到充分采动时,开采水



高程基点开始,沿平硐或斜井进行经纬仪导线测量和水准测量或三角高程测量来完成联系测量的任务。对于立井,需用专门的方法进行。

立井定向测量的种类 一类是从几何原理出发的几何定向;另一类是以物理特性为基础的物理定向。

几何定向分为:①通过一个立井的几何定向,称一井定向;②通过两个立井的几何定向,称两井定向。几何定向是一种传统的定向方法,众多测量学者曾对其进行过大量的研究工作,有成熟的理论和方法。

物理定向可分为:①精密磁性仪器定向;②投向仪定向;③陀螺经纬仪定向。

前苏联在20世纪40年代曾制造精密磁性定向仪器和投向仪,并用于矿井定向。由于定向精度低和作业复杂,这两种定向方法未得到发展,中国未曾使用。陀螺经纬仪的研制成功,使矿井定向进入了一个新的时代。用陀螺经纬仪定向,不占用井筒,精度高,作业效率也高,中国已广泛应用。

联系测量的精度要求 为了检核和提高测量精度,联系测量必须独立进行两次。几何定向和导入高程测量的两次独立测量结果的允许差值,中国是按实际能达到的精度即根据统计分析各矿的实际测量资料来确定的。陀螺经纬仪定向的精度要求,是根据不同精度等级的陀螺经纬仪按其定向精度确定的。中国《煤矿测量规程》规定,两次独立定向算得的井下定向边坐标方位角的互差,两井定向和一井定向分别不得超过 $1'$ 和 $2'$ ,对小矿井可适当放宽要求;两次导入高程的互差不得超过井筒深度的 $1/8000$ 。

(桑光灿)

## kuangjing sanliang

### 矿井三量 (Three Class Reserves of mine)

开拓煤量、准备煤量和回采煤量三个煤量的简称,简称三量。三量及其可采期是反映矿井生产准备状况的宏观指标。

矿井的开采准备一般可划分为水平开拓、采区准备和回采工作面切割三个阶段。三个阶段所掘凿的井巷工程相应地称为开拓巷道、准备巷道和回采巷道。凡进入采区(盘区)前掘凿的井巷称为开拓巷道,它服务于一个及一个以上采区,如主井及副井、井底车场及主要硐室、中央石门、水平运输大巷及水平回风大巷等。为一个采区内各区段服务的巷道称为准备巷道,如采区石门、采区上下山、采区上下部车场、采区煤仓等。为区段内一个或一组工作面服务的巷道称为回采巷道。按照储量开采的准备程度,将三类巷道圈定的可采储量称为开拓煤量、准备煤量和回采煤量。各级煤量的

大小反映各类巷道掘进准备的状况。

采煤和掘进是煤矿生产中的两个基本环节,两者在时间上和空间上应保持正常的接续关系,即采掘平衡关系。用三量可采期来衡量采掘平衡关系,防止采掘失调,保证煤炭生产持续稳定发展。

对于不分采区(盘区)的矿井,应根据实际接替环节确定煤量等级数及其圈算方法。

三量划分 为了计算三量,应确定三量的划分范围。由于各矿的开拓方式和采煤方法存在差异,因此三量的划分方法也有所不同,应在统一的划分原则下结合各矿的具体情况进行。各级煤量按巷道完成情况对应一定的区域圈算。

开拓煤量 通向采区的全部开拓巷道均已掘完,并具备掘进采区准备巷道条件时所构成的此采区范围内的可采煤量。计算公式为:

$$Q_{\text{开}} = (SmR - Q_{\text{损}} - Q_{\text{采}})K_1$$

式中 $Q_{\text{开}}$ 为开拓煤量; $S$ 为构成开拓煤量的煤层面积; $m$ 为煤层平均厚度; $R$ 为煤的密度; $Q_{\text{损}}$ 为地质和水文地质损失; $Q_{\text{采}}$ 为呆滞煤量,包括永久煤柱和采区开采期内不能回采的临时煤柱及其他被压煤量; $K_1$ 为采区回采率。

准备煤量 在开拓煤量范围内,采区准备巷道均已掘完时所构成的可采煤量。计算公式为:

$$Q_{\text{准}} = (SmR - Q_{\text{损}} - Q_{\text{采}})K_1$$

式中 $Q_{\text{准}}$ 为准备煤量;其他参数的含义同上式,只是对应于准备煤量的圈算范围。

回采煤量 在准备煤量范围内,开采前必须掘好的回采巷道全部完成时所构成的可采煤量。计算公式为:

$$Q_{\text{采}} = S_{\text{采}} m_{\text{采}} RK_2$$

式中 $Q_{\text{采}}$ 为回采煤量; $S_{\text{采}}$ 为煤层可采面积; $m_{\text{采}}$ 为采厚; $K_2$ 为工作面回采率。回采煤量应包括正在回采的工作面剩余煤量和备用工作面煤量。

三量可采期 开拓煤量、准备煤量和回采煤量可供开采的期限,是衡量采掘平衡关系的重要指标。为了使开采准备长期保持采掘接续的最佳状态,三量可采期不能过小或过大,因此必须规定三量可采期定额,通称合理可采期。三量可采期的计算公式如下:

$$\text{开拓煤量可采期(年)} = \frac{\text{期末开拓煤量}}{\text{当年计划年产量或年设计生产能力}}$$

$$\text{准备煤量可采期(月)} = \frac{\text{期末准备煤量}}{\text{当年平均月计划产量或平均月设计生产能力}}$$

$$\text{回采煤量可采期(月)} = \frac{\text{期末回采煤量}}{\text{当年平均月计划回采产量}}$$

在开拓煤量和准备煤量可采期计算时,当矿井年计划产量超过设计生产能力时,按年计划产量计算;未达到设计生产能力时,按设计生产能力计算;未审定生产能力或衰老矿井,按年计划产量计算。

**三量统计** 为了及时掌握三量动态变化,反映生产准备程度和采掘关系,各生产矿井定期对三量及其可采期进行统计和分析,绘制和填报有关的图表和台帐。

(桑光灿)

# kuangjing tisheng shebei anzhuang celiang 矿井提升设备安装测量 (survey for shaft winding plant installation)

矿井提升设备安装过程中的标定和检查测量工作,包括绞车安装测量、摩擦轮绞车安装测量和天轮安装检查测量。目的是使提升设备相互之间的关系满足设计要求,保证其正常运转。

**提升绞车安装测量** 依据在绞车房内设置的绞车主轴中线、井筒十字中线、提升中线以及高程点来进行,包括绞车基座安装测量、轴承安装测量、绞车主轴安装测量。

**绞车基座安装测量** 根据  $A_1$ 、 $A_2$  和  $B_1$ 、 $B_2$  中线(见图),按照基础平面图检查基础细部和地脚螺孔位置;依据高程点检测基础细部高程。在机座上预刻出主轴中线点,依据主轴中线,找正机座;同时测量机座高程及四角点高差,符合要求后固定机座。

**轴承安装检查** 利用主轴中线和在轴瓦中心线上

预刻的两点,找正轴瓦平面位置;用水准仪配以钢板尺控制轴瓦高程。

**绞车主轴安装测量** 依据主轴中线,对主轴两端中心进行找正。主轴水平度检查,采用精密水准仪配合方框水准尺进行。将水准仪置于与两轴端等远处,方框水准尺分别立于两端轴头最高点,精确测量主轴两端点高差,以控制主轴的水平度。当两端轴径相等时,可采用精密水准仪利用旋转测微器直接观测两轴头上缘,由测微器在两端的读数差计算高差。

**摩擦轮绞车安装测量** 首先检查井塔绞车大厅内十字中心线,符合要求后,以此作为多绳摩擦轮绞车安装测量的依据。测量工作有绞车基础检查、机座轴承安装测量、绞车主轴平面位置检查、主轴高程检测和主轴水平度检查、导向轮平面位置检查、轮轴水平度和轮轴高程检查。

**天轮安装检查测量** 首先检查在天轮平台上所标出的井筒十字中线,然后按设计尺寸在平台上标出提升中线和天轮轴线,作为安装天轮的依据。检查测量包括天轮轴水平度检查、天轮中线位置检查、天轮平面与过提升中线竖直面间夹角的检查、天轮平面竖直程度检查。

**天轮轴水平度检查** 用水准仪直接测量天轮轴两端点高差,其值不应超过轴长的  $1/5000$ 。

**天轮中线位置检查** 精确丈量天轮内侧边缘到提升中线的平距  $a$  和边缘宽度  $d$ , 计算天轮中线到提升中线的实际距离

$$b = a - \frac{d}{2}$$

与设计值进行对比检查。

**天轮平面与过提升中线的竖直面夹角检查** 利用天轮中线位置检查得到天轮直径两端的数据  $b_1$ 、 $b_2$ , 计算夹角

$$r = \frac{b_1 - b_2}{D} \rho''$$

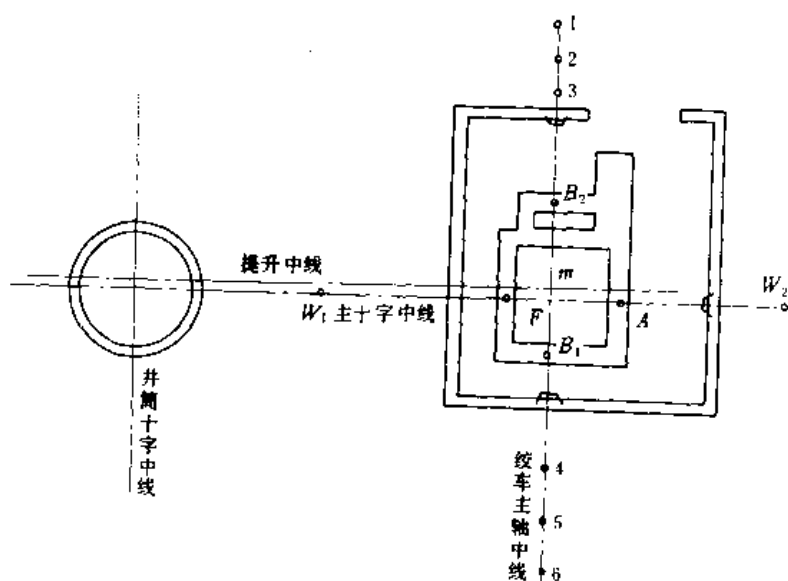
式中  $D$  为天轮直径,  $m$ ;  $\rho'' = 206265''$ 。 $r$  角应符合设计规定。

**天轮平面竖直程度检查** 在靠近天轮轴端处悬挂一垂球线,测量垂线至天轮上、下外缘的平距  $L$ 、 $K$ , 及上、下测点间垂距  $D_v$ , 夹角

$$\delta = \frac{K - L}{D_v} \rho''$$

应符合设计规定。

(刘 林)



绞车基础位置标定及十字中线转设

kuangqu dixing celiang

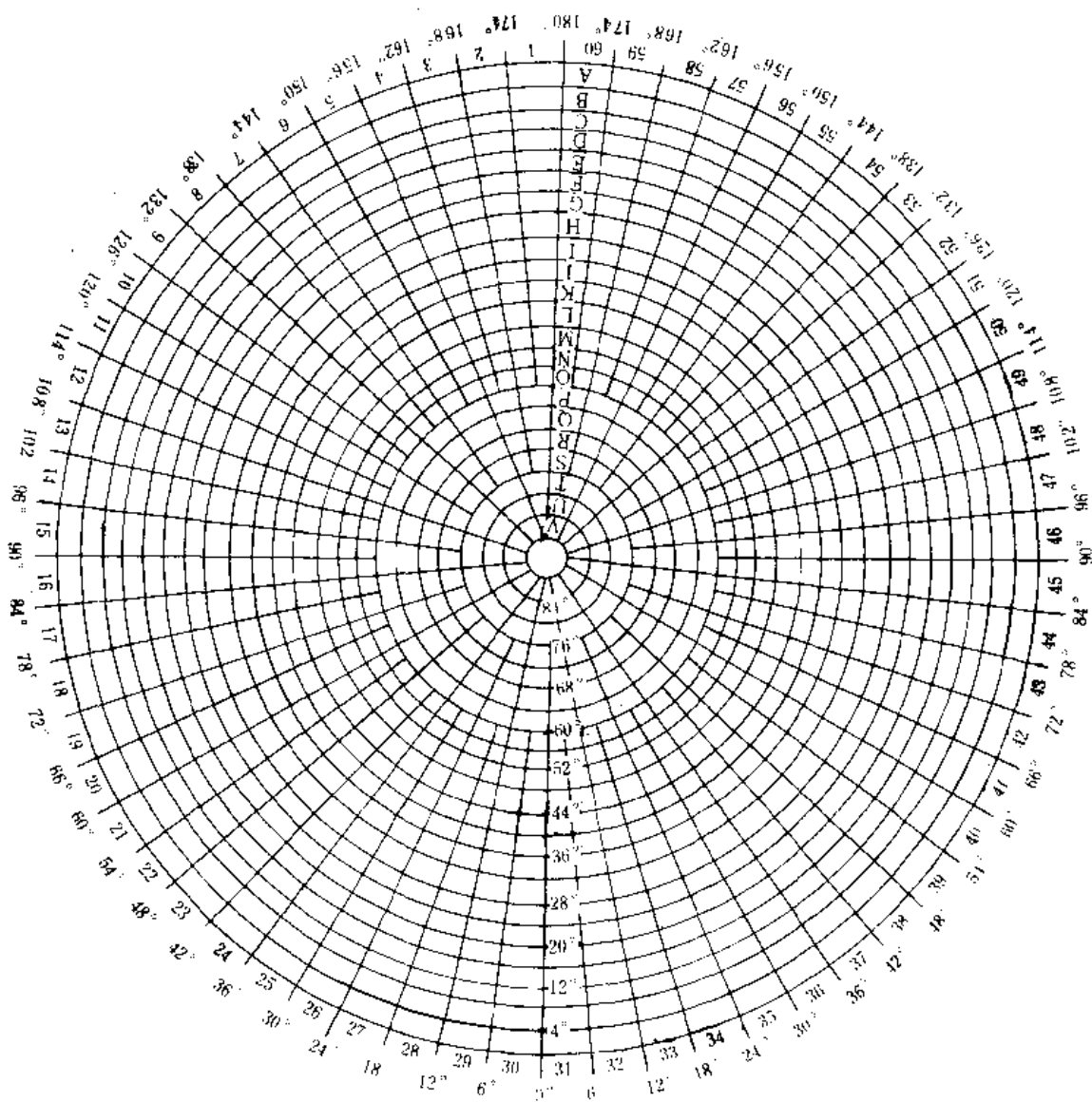
## 矿区地形测量 (topographic survey in mining area)

对矿区范围内地表面上的地物、地貌在水平面上的投影位置和高程进行测定,按一定比例缩小,用符号和注记综合绘制成正射投影图的工作。

矿区地形测量的特点是:①按矿区开发的阶段性,矿区地形图的比例尺具有多样性,一般为1:500、1:1 000、1:2 000、1:5 000或更小的各种比例尺地形图;②在内容综合取舍上突出采矿生产与安全的需要,如对钻孔、隐蔽工程、煤柱等,都要详尽表示;③矿区地表形态由于受采动影响而发生变化,因此矿区地形图需进行定期修测、补测或重测。

地形图的比例尺 图上直线的长度与地面上相应线段水平投影长度之比。地形图的比例尺大小,不同部门有不同的要求。中国国家基本比例尺地形图把1:1万~1:10万比例尺图视为大比例尺地形图,1:20万~1:50万比例尺图视为中比例尺地形图,1:100万或更小比例尺图视为小比例尺地形图。而在矿区,则将1:5 000、1:2 000、1:1 000和1:500等比例尺图视为大比例尺地形图。

地形图的分幅和编号 为便于测绘、拼接、使用和保管地形图,各种比例尺地形图的图幅划分方法、图廓尺寸和编号都有统一的规定。根据测图比例尺的不同,有正方形和梯形两种分幅方法。大比例尺测图一般采



北半球的1:100万地形图国际分幅情况



用正方形分幅;中小比例尺测图则采用梯形分幅。对大面积的 1:500 比例尺测图,也可采用梯形分幅。

梯形分幅是按经线和纬线来划分的。1:100 万比例尺地形图的分幅编号由国际统一规定,即将整个地球表面用子午线分成 60 个 6° 的纵列,分别用阿拉伯数字 1~60 编号;同时,由赤道起分别向南向北两方向各每隔纬度 4° 作一横行,直至纬度 88° 为止,分别用大写的拉丁字母 A、B、C、…、V 标明,以两极为中心,以纬度 88° 为界的圆面积用 Z 标明。如图为北半球 1:100 万地图国际分幅情况。在北半球和南半球的图幅,分别在编号前加 N 和 S 予以区别。中国领域全部位于北半球,故省注 N。一幅 1:100 万比例尺地形图,是由纬差 4° 的纬圈和经差 6° 的子午线所形成的梯形。每幅 1:100 万比例尺的梯形图幅的图号是由横行的字母与纵列的号数组成,如中国北京所在的 1:100 万比例尺地形图图号为 J-50。其他各种比例尺的图,其分幅编号由各国自行规定。中国对 1:1 万及小于这种比例尺的地形图采用梯形分幅,即图的东西边界以一定数值的经度为界,图的南北边界以一定数值的纬度为界,其编号也有统一规定。矿区大比例尺地形图的图幅通常采用正方形分幅。正方形分幅是按平面直角坐标的纵、横坐标线划分的,图幅上下以坐标横线为界,图幅左右以坐标纵线为界。1:5 000 比例尺地形图的图廓是 40cm×40cm,1:2 000、1:1 000、1:500 比例尺地形图的图廓为 50cm×50cm,也有根据实际需要采用 40cm×50cm 的矩形分幅。正方形分幅编号一般采用图廓西南角的以公里为单位的坐标值表示。对于小面积测区的图幅,也可用工程代号或按序号编号。

**矿区地形测量方法** 矿区地形测量一般为大比例尺地形测量。对大中型矿区一般采用航空摄影方法;对面积较小的地区常采用平板仪测图法或数字地形测量方法。无论采用哪种地形测量方法都是先在高级控制点的基础上逐步加密精度较低的控制点,作为地形测图的依据。采用平板仪测图时,称这些点为图根控制点,简称图根点。再根据图幅内的控制点测定地物、地貌的特征点(碎部点),完成地形测量工作。

**图根控制测量** 直接为测图建立平面控制和高程控制所进行的测量。一般要求图根点相对于邻近高级点的点位中误差不大于图上的 0.1mm,加密时可采用图根三角锁(网)、图根导线或交会点法确定平面位置;图根点的高程通常用三角高程测量和水准测量的方法测定。一般要求图根点的高程中误差相对于邻近水准点,不超过等高距的 1/10。

**地形图的测绘** 测绘地物、地貌平面位置和高程的工作。凡固定性物体,如街道、房屋、铁路、江河、

湖泊、森林、草地及其他人工建筑物称为地物;地貌是指地面高低起伏的形态,如山地、丘陵、平原、深谷、陡坎、悬崖峭壁及雨裂冲沟等,用等高线及专门符号表示。根据控制点测量地物、地貌特征点的位置和高程,按这些碎部点对照实地情况,依比例尺用规定符号在图上绘出各种地物、地貌。

**展望** 摄影测量是 19 世纪以来在测绘领域内发展起来的一个新分支。当前,由于高质量的摄影机和精密量测仪器的出现,加上软件的不断改进和发展,其量测精度显著提高。今后随着采矿生产和建设的更高要求以及地籍测量的普遍开展,有可能用航测技术施测更大比例尺的地形图。随着数字地形测量软件的开发和不断完善,该项技术在矿区地形测量中也将得到广泛应用。

(刘光宗 乔仰文)

kuangqu gaocheng kongzhi celiang

**矿区高程控制测量** (vertical control survey of mining area)

在矿区内为提供地形测图或工程测量建立高程控制网所进行的测量工作。进行高程测量,首先在地面按一定技术要求选择一系列点并用能够长期稳定保存的特制标志显示其确切位置,用精密的方法测出其高程,这些点称为高程控制点。由这些点构成的图形称为高程控制网,作为测定其他点高程的基础。

建立高程控制网常用水准测量、三角高程测量。用水准测量方法测设的高程控制网称为水准网。水准网是矿区基本控制网。矿区高程控制网是在国家高程控制网的基础上布设的。

**国家高程控制网** 在全国范围内,按照国家测量规范规定,测定一系列地面点的高程所构成的网。它主要用水准测量方法建立,故又称国家水准网。

国家高程控制网采用从整体到局部、由高级到低级、逐级控制、逐级加密的原则分 4 个等级布设。首先以青岛水准原点沿着地质构造稳定、坡度平缓的交通干线测设一等水准路线,闭合或成环,构成网状,布满全国,环线周长为 1 000~1 500km。接着以一等水准点为高程起算点,在一等水准环内测设二等水准路线,构成环线,周长为 500~750km。然后在二等环内,测设三等水准测量路线,构成环线周长更短的三等水准网。最后再以四等水准路线作进一步加密。

一、二等水准测量是用精密水准仪和按规范的作业程序施测的,是国家高程控制网的骨干和基础,主要用于科学研究和为其他等级水准测量提供高程控制。



三、四等水准测量精度相对较低,直接为测绘地形图和各种工程建设提供高程控制点。

**矿区高程控制网** 为满足矿区大比例尺测图和各项工程建设而布设的高程控制网。矿区高程控制网以水准网作为基本控制网,采用与国家水准网相同的布网原则和方法进行布设。各等级水准测量的施测规格和精度要求在有关规程中均有详细规定。

矿区首级水准网的等级应依矿区面积和发展远景而定,一般以国家二等或三等水准点为首级控制点。为保证水准点间相对高程的精度,首级水准网一般布设成自由网,以便与国家高程系统保持一致。为此首级网应布设成闭合环线,环线长度二等不超过 400km;三等不超过 45km。

(邢永昌)

kuangqu pingmian kongzhi celiang

**矿区平面控制测量** (horizontal control survey of mining area)

在矿区地面布设一系列起控制作用的相联系的点,构成平面控制网,为确定网中各点平面位置所进行的测量工作。矿区平面控制网是矿山进行各种测量工作的基础,对于地形测图是布设图根控制(见平板仪测图)的起算点,从而能使所测的地形图拼接成一幅完整的图纸;对于矿山工程测量,常在矿区控制网下布设专用的平面控制网,作为施工放样、井上下联系测量和开采沉陷测量的基础。矿区平面控制网具有统一矿区平面坐标系统和限制测量误差积累的作用。

**布网方法** 矿区平面控制网常用三角测量、三边测量、边角测量和导线测量方法建立。按布网方法不同,分别简称为三角网、三边网、边角网和导线网。前三种网中的基本图形为三角形,各三角形顶点称为三角点。导线网的基本图形是一系列相邻点连成的折线,这些点称为导线点。

为了测量三角点的平面位置,网中一般需有 4 个起算数据,即两个点的平面坐标或一个点的平面坐标、一条边的边长和一条边的坐标方位角(见方位角)。用导线测量方法建立矿区平面控制网时,要求在多个已知点间布设导线。当矿区面积较大时,为了有效控制测量误差积累,常需要有多余的起算数据。

三角测量是建立矿区平面控制网的基本方法。通过测量网中各三角形的顶角值,用解析几何方法从已知点起推算各三角点的平面位置。三角测量要求每个三角点能与较多的相邻三角点通视,一般要在点上建造觇标,以供邻点照准用,因此人力、物力消耗较多。

三边测量是通过测量网中各三角形的边长,应用

三角学的余弦公式计算各三角形的顶角值,再推算各点的平面位置。由于三边网检核条件少,推算得的各边方位角精度较低。

边角测量是测量网中各三角形顶角值和各边长。通过测角可控制各边坐标方位角的误差,而测边可控制边长误差,故布设边角网可提高点位精度,但人力、物力消耗多,因此常常在达到设计要求的精度前提下,以三角测量为主,再测量部分三角形的边长;或以三边测量为主,再测量部分三角形的顶角值。

导线测量要求相邻点间通视,通过测量相邻边间所夹的角值以及各边长,推算得各导线点的平面位置。导线测量具有布设灵活机动、工作量小和边长精度较均匀等优点,但控制面积小,检核条件少,点位精度稍差。

**布网原则** 矿区平面控制网一般在国家一、二等大地网下加密或以国家大地网点为起算数据建网。国家大地网主要采用三角测量方法,采取由大到小、逐级控制的原则布设。中国国家大地网按纵横锁系布网法分成一、二、三、四等网。大地测量法式规定,一等三角锁中三角形平均边长为 25km,角度测量中误差为  $\pm 0.7''$ ,起始边长度相对中误差不大于  $1:350\,000$ ,天文经度、纬度和方位角的测定中误差分别不大于  $\pm 0.3''$ 、 $\pm 0.3''$ 、 $\pm 0.5''$ ;二等三角锁中三角形平均边长为 20~25km,角度观测中误差为  $\pm 1.0'' \sim \pm 1.5''$ ;二等全面网的三角形平均边长为 13km,角度观测中误差为  $\pm 1.0''$ ;三等三角网的平均边长为 8km,角度观测中误差不大于  $\pm 1.8''$ ;四等三角网的平均边长和角度观测中误差视需要而定。矿区首级平面控制网的等级一般为三等网或四等网,视矿区范围大小确定;角度观测的精度要求与国家大地网一致;平均边长一般较短,以满足矿山工程测量的要求。

布设矿区平面控制网,一般根据矿区发展的需要,采取一次全面布网,或在全矿区内首先布设首级平面控制网,再分区、分期进行较低级的平面控制点加密。可以采用同一种测量方法或不同的测量方法。为了确保矿区平面控制网点具有一定的精度和密度,要对拟建的网进行精度估算或进行优化设计,确定最佳布网方案(见平面控制网技术设计)。

矿区面积较小,附近又无可供利用的已知点时,可采用假定坐标系,自行测定起算边长和起算方位角,布设成独立的矿区平面控制网。

**投影面和投影带** 为了控制矿区控制网的长度投影变形,一般均要将观测成果归算到参考椭球面或大地水准面,并采用 3°带高斯-克吕格平面直角坐标系,以便尽可能与国家采用的平面坐标系一致,有利于成



果,成图的相互利用。当矿区地处高原或矿区中部远离 $3^{\circ}$ 带中央子午线,且所测得的边长投影到大地水准面和 $3^{\circ}$ 带高斯-克吕格投影面后的长度变形过大,不能满足矿山工程测量精度要求时,可采用矿区平均高程面作为投影面和矿区中部的子午线作为中央子午线的地方(矿区)平面坐标系。矿区面积较小并采用独立坐标系时,可将矿区地表面视为平面。(见平面坐标系)

**平差计算** 为提高矿区平面控制网的精度和进行检核,常有多余的观测值和多余的起算数据。对观测值按最小二乘法进行平差计算,以消除观测值之间的矛盾,求得观测值的最或然值,评定测量成果的精度。(见测量平差)

**展望** 三角测量方法是由荷兰的斯涅尔(W. Snell)于公元1617年首创。20世纪80年代以前,中国在建立矿区平面控制网时,都使用此法。随着光电测距仪和计算机在煤矿的普遍应用,三角测量方法将被边角测量、三边测量和导线测量方法所取代。用光电测距导线布设专用平面控制网已广泛应用。随着GPS(见全球定位系统测量)卫星测量技术的发展和运用,新建和改建较大矿区平面控制网可大大缩短工期,且布点不受地形条件限制,相对点位精度高于其他方法。这一新技术将在较大矿区建立首级平面控制网时,进一步得到应用,并可能用于建立三维控制网。

(何 滔)

## kuangqu tielu shigong celiang

**矿区铁路施工测量** (railway construction survey for mining area) 标定矿叉铁路线路位置的测量工作,包括线路初测、线路定测、线路施工测量。矿区铁路是指连接国家铁路干线和矿区站场的专用线和露天矿铁路。

**线路初测** 根据踏勘提出的线路的不同方案,在野外标出线路走向,即线路转向点和长直线段上的转点位置。沿线进行导线测量建立平面控制,进行水准测量建立高程控制。测绘带状地形图,并在图上定线,供编制线路初步设计使用。测图比例尺一般为 $1:5\,000$ 或 $1:2\,000$ ,地形复杂地段用 $1:1\,000$ 。在带状地形图上定线时,根据图上标出的交点(又称转向点)位置,在相邻直线转向处用曲线连接。曲线要素值根据设计的半径和图上量得的转向角确定,并且计算全程交点、转点里程,标明桩号。线路确定后,绘制线路中线纵断面图,供方案选择、初步设计和定测应用。

**线路定测** 将初步设计选定的线路测设到实地,包括中线测量、曲线测设和断面测量。

**中线测量** 把设计图上的线路中线的交点和直线上的转点测设到实地,包括定线和中线桩测设。

(1) 定线是把初步设计的线路各交点和点间直线上的转点测设到实地。具体方法有拨角法、穿线法和利用地物点直接标定法等。

(2) 中线桩测设是在线路中线上测设控制桩(交点桩)、中线转点桩、百米桩、加桩和曲线主点桩。测设内容包括:丈量线路直线长度,详细测设曲线。按要求桩型设置中线桩。

**曲线测设** 为使车辆平顺地转变方向,需在两相邻直线间测设所设计的曲线。其中有平面曲线和竖曲线。平面曲线分为圆曲线和缓和曲线。圆曲线又有单曲线、复曲线、反向曲线、回头曲线和环形曲线等(图1)。

(1) 圆曲线测设。圆曲线是由一定半径 $R$ 的圆弧构成(图2)。控制圆曲线形状的三个主要点称为圆曲线主点,即图中直圆点(ZY)、曲中点(QZ)和圆直点(YZ)。测设圆曲线所需的基本数据称为圆曲线要

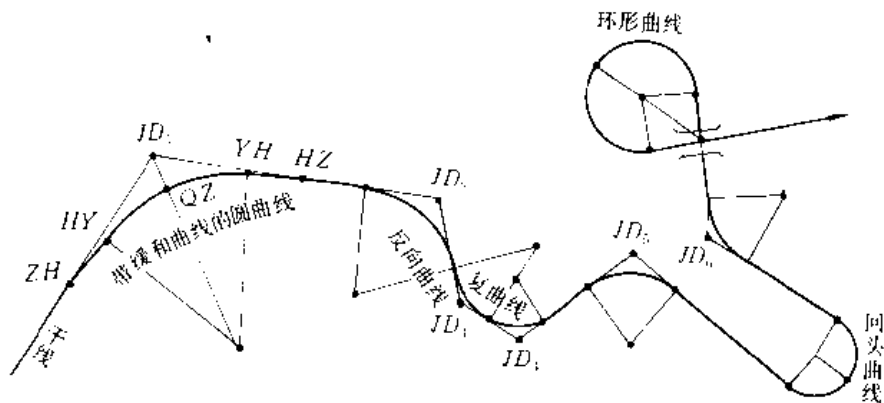


图1 曲线类型

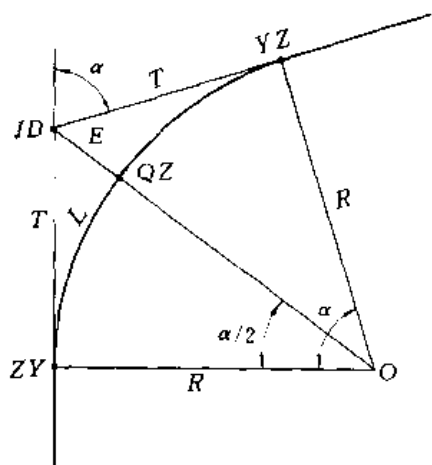


图2 圆曲线

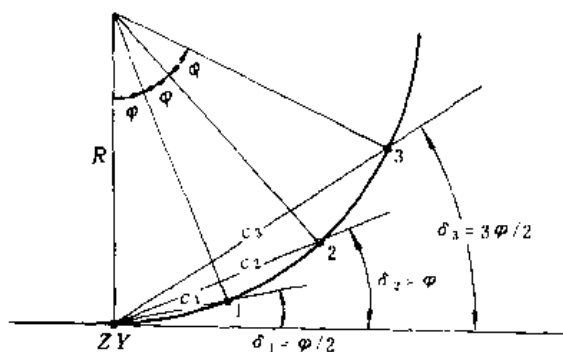


图3 偏角法测设圆曲

素,即切线长 $T$ 、曲线长 $L$ 和外矢距 $E$ 。圆曲线要素根据转向角 $\alpha$ 和半径 $R$ 计算或由《曲线表》查取。圆曲线测设时,首先测设曲线主点,即在交点 $JD$ 安置经纬仪,根据转向角和外矢距标定 $QZ$ 点,在切线方向量距 $T$ 分别标定 $ZY$ 和 $YZ$ 两点。然后测设曲线细部,即每隔 $10\text{m}$ 或 $20\text{m}$ 标定一个曲线桩(又称副点桩)。标定方法有偏角法、切线支距法、割线法、弦线偏距法、正矢法等多种。偏角法和切线支距法常用。偏角法是以曲线起点 $ZY$ (或终点 $YZ$ )至曲线上任一副点的弦线与切线之间的夹角(称为偏角) $\delta_i$ 和弦长 $c_i$ ,从切点起用极坐标法标设曲线桩(图3)。曲线偏角 $\delta_i$ 由《曲线表》查取。切线支距法是以曲线起点 $ZY$ (或终点 $YZ$ )为坐标原点,切线为 $x$ 轴,垂直切线方向为 $y$ 轴,求出各曲线副点的坐标 $(x_i, y_i)$ 。实际标设时,在《曲线表》中以各弧长 $L_i$ 和 $R$ 为引数,查取 $(L_i - x_i)$ 和 $y_i$ ,以切线 $x$ 轴为基准,用直角坐标法(见建井测量)标定曲线副点桩(图4)。

(2)缓和曲线测设。缓和曲线是连接直线和圆曲线的过渡曲线,其曲率半径是由无穷大逐渐变化为圆曲

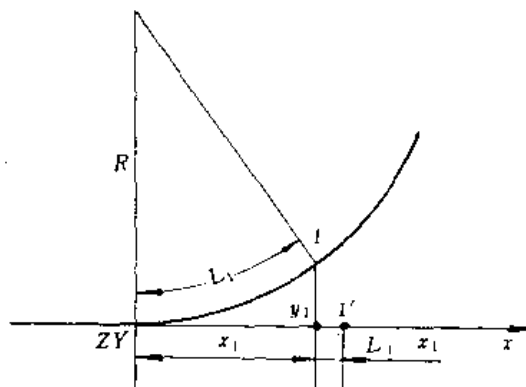


图4 切线支距法测设圆曲线

线半径。在缓和曲线上任一点的曲率半径与该点至起点的曲线长成反比。在圆曲线的两端加设等长的缓和曲线后(图5),曲线主点包括:曲线起点( $ZH$ )、圆曲线起点( $HY$ )、曲线中点( $QZ$ )、圆曲线终点( $YH$ )、曲线终点( $HZ$ )。加入缓和曲线后的曲线要素有切线长 $T$ 、外矢距 $E$ 、曲线全长 $L$ 、切曲差 $q$ 。曲线要素可根据转向角 $\alpha$ 、圆曲线半径 $R$ 和缓和曲线长 $L_0$ ,按公式计算或由《曲线表》查取。曲线主点 $ZH$ 、 $QZ$ 、 $HZ$ 的测设与圆曲线相同, $HY$ 和 $YH$ 由 $ZH$ 和 $HZ$ 用偏角法测设。曲线副点用偏角法、切线支距法、弦线偏距法、正矢法等测设。

(3)竖曲线测设。竖曲线是在纵断面坡度变化处设置连接两相邻坡度线的曲线,一般采用圆曲线。标定时,先标出竖曲线的起、终点,再沿线路中线由竖曲线起点(或终点)开始,依次丈量距离确定曲线桩位置,在桩上标明里程。根据各桩的实测高程和设计高程,计算各桩处填挖高度。

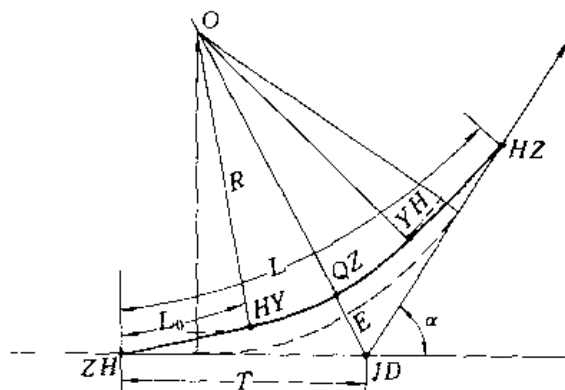


图5 缓和曲线



**断面测量** 沿线路某一方向测量地表起伏的工作。一般分为纵断面测量和横断面测量。

(1) 纵断面测量是测量线路中线桩地面高程并绘制断面图的测绘工作。测量时,由水准基点起,采用水准测量方法,沿线路依次测出中线上所有控制桩和中桩的高程。断面图是以水平距离为横坐标、高程为纵坐标,根据测量成果绘制。为了显示地势变化,绘图的纵坐标比例尺是横坐标比例尺的10倍或20倍。在该坐标系中展绘各测点,依次连接各点作为沿线路中线的实际地面线,供路基设计使用。

(2) 横断面测量是测量垂直于线路中线方向上地面起伏的工作。横断面在线路百米桩和加桩处测量。横断面的测量宽度决定于地形变化和路基宽度。测量时,在线路中线垂直方向上,以中线桩为界,分别测量两侧变坡点至中线桩的水平距和高差。根据测量成果绘制横断面图,其水平距离和高程的比例尺相同。横断面图主要用于路基设计、土方量计算和路基施工标定。

**线路施工标定** 包括线路复测、路基施工标定、路基竣工测量等工作。

(1) 线路复测在路基施工前进行。施工单位对设计部门转交的测点和桩点复测,包括交点、转点、曲线主点和副点、永久和临时水准点等,对重要的中线桩应加设保护桩。

(2) 路基施工标定是在线路中线桩两侧垂直线路的方向上,用边桩或边坡样板等标出路堤边坡的坡脚、路堑的坡顶的位置,作为路基施工填挖方的边界和路基质量检查的依据。

(3) 路基竣工测量在铺轨前进行。检查路基施工质量,保证铺轨的中心线和高程符合设计要求。

(田佩俊)

kuangshan celiangxue

**矿山测量学** (mine surveying) 研究测定矿山地面、地下点的几何位置,获得矿体、矿山开采和开采沉陷的各种空间几何信息,进行分析和数据处理,编制各种比例尺的矿山地面、地下开采图件,以及研究矿产资源合理开采、开采沉陷及其防护的理论和技术的学科。

矿山测量学应用范围很广。煤矿在地质勘探、设计、建设和生产运营各阶段中,必须进行矿区地面测量、建井测量、生产矿井测量、露天矿测量、矿体几何和矿山开采沉陷测量,绘制各种比例尺的矿图,以供规划、设计、施工和管理使用,并为安全进行采掘活动提供决策依据。

**研究内容** 主要研究对象是矿山在建设和生产过

程中的矿体形态及其在空间特征的变化,包括矿山工程测量、开采沉陷及防护和矿体几何及矿产资源保护三项主要内容。主要任务:①建立矿区地面和井下(露天矿)测量控制系统,为煤矿各项工程建设和经济建设工作提供起算数据;②按照设计要求,为采掘(剥)、土建、管线和机电安装等准确标出各部分的平面和高程位置;③测绘各种煤矿测量图,满足煤矿生产、建设和规划各阶段的需要;④定期进行三量(开拓煤量、准备煤量和回采煤量)、露天矿二量(开拓煤量和回采煤量)和露天采剥量的统计分析,对煤矿各级储量动态及损失量进行统计和管理,对煤炭资源的合理开采进行业务监督;⑤地表、岩层和建(构)筑物变形观测,开采沉陷防护和环境综合整治的研究;⑥进行各类煤柱、“三下”(建筑物下、铁路下和水体下)采煤、土地征用和村庄搬迁方案设计;⑦进行矿区范围内的地籍测量;⑧参与本矿区(矿)月度、季度、年度生产计划和长远发展规划的编制工作。

**简史** 公元前13世纪,埃及有了按比例缩小绘制的巷道图。公元前1世纪,希腊学者Γ.亚历山德里斯基已对地下测量和定向进行了叙述。在1556年出版的德国学者G.阿格里科拉(G. Agricola)的《论矿业和冶金》一书中,论述了用罗盘仪进行井下巷道测量的方法和矿山开采中的某些问题。1742年,俄国学者M. B. 罗蒙诺索夫(M. B. Ломоносов)在《冶金和采矿基础》一书中专门写了一章“矿山测量”,不仅介绍了各种测量仪器,而且还研究了诸如立井和平巷贯通等各种具体测量问题。19世纪中叶,开始由经纬仪取代挂罗盘进行井下测量和用误差理论处理测量数据及精度评估。

19世纪中叶到20世纪初,是矿山测量发展较快的时期,出现了许多优秀学者,如俄国的Γ. A. 季梅(Γ. A. Тиме)、П. M. 巴胡林(П. M. Бахурин)等,对矿山测量发展作出了突出贡献。1885年,德国建立了矿山测量师协会(Gesellschaft für Markscheider)并出版了世界上第一种矿山测量的定期刊物《矿山测量学通报》(Das Markscheidewesen)。1904年,俄国在托姆斯克工学院成立了世界上第一个培养矿山测量师的矿山测量专业。1921年,苏联召开全俄矿山测量员代表大会,大会决定在各采矿企业建立矿山测量机构。1932年,成立中央矿山测量科学研究所(Центральное Научно-Исследовательское Маркшейдерское Бюро, ЦШМБ),1945年改为全苏矿山测量科学研究所(Всесоюзный Научно-Исследовательский Маркшейдерский Институт, ВНИМИ),现改为全俄矿山地质力学和矿山测量科学研究所(Всесоюзный Научно-

исследовательский Институт Горной Геомеханики и Маркшейдерского Дела, ВПИИИ). 在国际上, 1969 年 8 月在捷克斯洛伐克布拉格召开了第一届国际矿山测量学术会议 (International Symposium for Mine Surveying, ISM)。中国于 1979 年首次派遣专家参加了在德国亚琛 (Aachen) 召开的第 IV 届国际矿山测量学术会议。

中国春秋战国时代 (公元前 722 年~公元前 221 年), 随着矿业的发展而产生了原始的矿山测量技术。《周礼地官》记载: “矿人掌金玉锡石之地, ……若以时取之, 则物其地图而授之。” 这说明那时已使用矿山测量图。到了近代, 矿山测量技术有了长足发展。1879 年 (光绪五年), 开滦矿区建设第一对矿井——唐山矿时, 就设立了测量机构, 测绘了井田地形图和采掘工程图。当时各矿均是采用以主井中心为坐标原点, 以锁口盘平台为高程零点, 以磁北为坐标纵轴的独立坐标系。1908 年, 清政府颁布实施的《大清矿务章程》中已经有了矿图绘制程式的要求。

中国矿山测量的迅速发展始于中华人民共和国成立以后。根据采矿业发展的需要, 1953 年, 北京矿业学院 (即今中国矿业大学) 首先设置了矿山测量专业。1954 年, 燃料工业部全国煤矿管理总局成立测量处 (后合并为地质测量处), 并于同年 12 月在唐山市召开了第一次全国煤炭系统矿山测量会议。1956 年, 唐山煤炭科学研究院建立了中国第一个矿山测量研究机构——矿山测量研究室 (即今煤炭科学研究总院唐山分院矿山测量研究所)。与此同时, 各大、中型煤矿企业相继成立了矿山测量机构, 进行矿图改革, 对矿区地面控制网进行了全面的改建或重建, 统一了矿区坐标系。1981 年, 中国煤炭学会矿山测量专业委员会成立, 同年召开了第一届矿山测量学术会议。

**技术发展** 20 世纪 50 年代以后, 电子、激光等新技术的迅速发展, 推动了矿山测量仪器的研制工作。在国际上相继出现了陀螺经纬仪、光电测距仪、电子经纬仪等, 并将计算机应用到矿山测量工作中, 使传统的矿山测量学理论和技术发生了巨大变革。

中国矿山测量科学技术从 20 世纪 70 年代初开始进入了一个新的发展时期。在一些主要矿区先后将摄影测量、陀螺定向、激光指向和计算机技术用于地面和井下控制测量、地形测量、施工测量和贯通测量工作中, 并能准确地解决地质勘探、采矿工程设计与施工、开采沉陷损害与防护等方面的矿山测量问题。不少矿区开发了计算机绘制采掘工程平面图技术, 建立了矿山测量数据库及处理系统。部分矿区应用了全站型经纬仪和全球定位系统 (GPS)。这些都极大地改变了传

统的测量方法, 并朝着数据采集、存储、计算和绘图自动化的方向发展。

中国开采沉陷损害与防护的研究工作始于 20 世纪 50 年代, 对地下开采引起的地表移动和变形的计算问题, 中国学者进行了大量的分析研究工作, 建立了适合中国情况的地表移动计算方法。中国《煤矿测量规程》推荐的计算方法有典型曲线法、负指数函数法、概率积分法。

#### 展望

(1) 在测量方法、仪器等开发与应用方面, 主要是推广摄影测量技术, 尤其是大比例尺图的绘制, 缩短成图周期, 加快矿图更新; 研究用于井下的矿用轻便经纬仪和自动跟踪、数字显示的防爆陀螺经纬仪等; 研究矿区井上下控制网的布设、优化和平差计算方法, 精度估算以及矿图绘制自动化等方面问题; 建立矿区测绘数据库和处理系统, 并建立信息网络系统; 惯性测量仪器的研究和 GPS 的应用等。

(2) 开采沉陷损害与防护方面, 主要是建 (构) 筑物下、铁路下和水体下采煤与矿山经济效益评价; 矿区环境治理与土地复垦的研究; 解决密集建筑群下压煤开采和保护技术。

(3) 资源管理方面, 主要是矿体探测、统计、计算方法的研究; 借助计算机技术对矿体模拟研究, 进行矿产资源损失、贫化的经济评价, 确定合理的回采率等。

(马启勋 周国铨 桑光灿)

### kuangti jihe touying

#### 矿体几何投影 (projection of ore body)

用图解方式描绘和解决矿体几何特征与空间几何问题所选用的投影。投影有中心投影与平行投影之分。中心投影虽立体感强, 但线量度量困难, 不宜于工程制图, 故只在解求角值或表示岩层裂隙密度等问题时选用, 如以球面上某点为投影中心的球面透视投影。平行投影具有平行于投影面的直线和角度投影后其大小不变、平行直线的投影仍然是平行直线、直线上各线段之比等于其投影之比之性质, 既适于绘制空间物体图象, 又便于度量, 故在矿体几何工作中广泛选用, 如标高投影、轴测投影和仿射投影等。

**标高投影** 采用零水平面作投影平面, 将空间物体特征点垂直投影于此投影平面上, 用以确定各特征点的平面位置 (即点的  $x$  坐标和  $y$  坐标), 然后于此投影点旁用数字注明该空间点到投影面的距离 (高程) 的直角平行投影。

**点的标高投影** 图 1 所示有一空间点  $A_s$ , 图 2 中

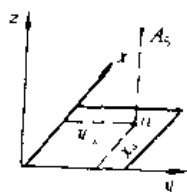


图1 点的空间位置

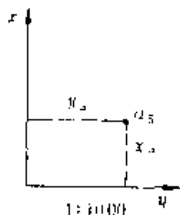


图2 点的标高投影

$a_s$  为其标高投影。在图纸上画出平面坐标系，注明作图比例尺，根据点的平面直角坐标  $x_s$  和  $y_s$  值绘出该点的平面位置，并标注该点的高程如  $a_s$ 。

**直线的标高投影** 空间一直线的标高投影可用该直线上两点的标高投影，或该直线上一点的标高投影与该直线的倾向和倾角（斜率）表示（图3）。规定直线的倾向，由高向低表示。直线倾向的方位角则是自  $x$  轴的正向（北端）起顺时针方向量至倾斜方向的水平夹角。

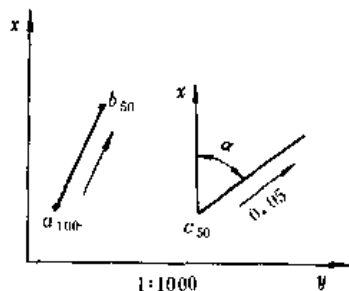
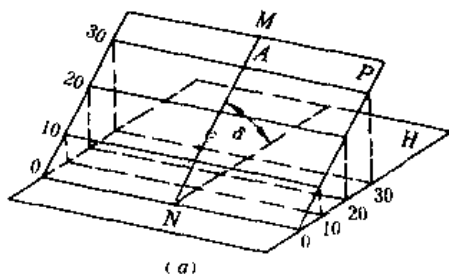


图3 直线的标高投影

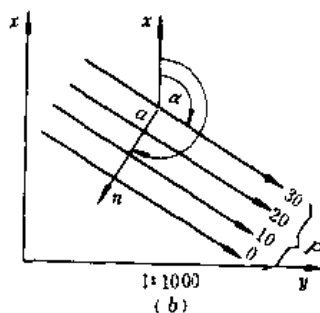
**平面的标高投影** 用平面上的一组（至少两条）等高线的投影表示。如图4a中的空间平面  $P$  投影在水平投影面  $H$  上，便可用该平面上的0、10、20、30……等高线在水平投影面上相应的等高线的投影0、10、20、30……来表示，如图4b所示。

垂直等高线的直线  $MN$  称作平面的最大坡度线，即平面的倾斜线，其倾向由高向低表示。平面倾斜方向的方位角，是由  $x$  轴正向（北端）起顺时针方向量至倾斜线方向的水平夹角，简称平面的倾向。平面等高线的方向，即平面的走向，则规定为比其倾向小于  $90^\circ$  的方向。平面最大坡度线与水平面的夹角为平面的倾角，常用  $\delta$  表示。

作图方法如图5所示。根据给出确定空间平面的数据，如不在同一直线上的三点、一直线和线外一点、相交两直线或平行两直线，按选定的比例尺在图纸上作出这些数据（点、线）的标高投影，连接相应点，并

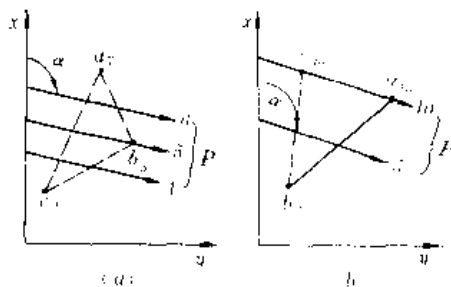


(a)

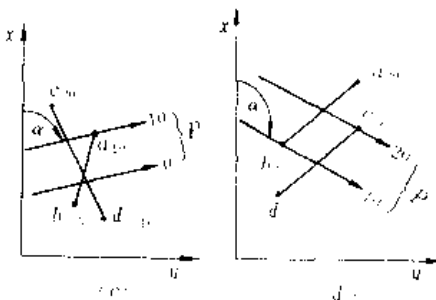


(b)

图4 平面的标高投影



(a)



(b)

图5 平面的标高投影作法

对连接的线段进行直线分节，然后连接同名等高点得出等高线，即得用等高线表示的平面标高投影。

**曲面的标高投影** 图6中设想距零水平面（投影面）有一组等高间距为  $h$ （如  $h=50\text{m}$ ）的水平面与该空间曲面相截，得各水平面与曲面的交线为曲面的等高线，将这组等高线投影于零水平面上，便得曲面的标高投影。图6的上部为等高间距  $50\text{m}$  的三个平行平面与曲面相截；下部为该曲面的标高投影。

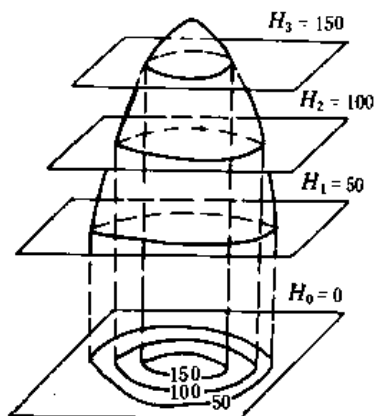


图6 曲面的标高投影

**轴测投影** 空间物体连同坐标轴一起投影于投影面上，利用三个坐标轴确定物体三个尺度的一种平行投影。轴测投影中，平行于某一坐标轴的所有线段，其投影变形系数相同。变形系数是空间某线段沿某一坐标轴的投影长与其沿相应坐标轴的实长之比。图7中， $o'x$ 、 $o'y$ 、 $o'z$  为空间直角坐标轴， $ox$ 、 $oy$ 、 $oz$  为斜角轴测投影轴，投影方向  $o'o$  与投影面的夹角为  $\theta$ 。若以  $p=ox/o'x$ 、 $q=oy/o'y$ 、 $r=oz/o'z$  相应地表示在  $x$ 、 $y$ 、 $z$  轴向上的变形系数，则变形系数间有如下关系：

$$p^2 + q^2 + r^2 = 2 + \cot^2 \theta$$

根据变形系数  $p$ 、 $q$ 、 $r$  及投影方向与投影面间的夹角  $\theta$  之不同，轴测投影可按下表分类。

轴测投影分类

| $\theta$ | 正角轴测投影 $\theta < 90^\circ$                 | 斜角轴测投影 $\theta > 90^\circ$                 |
|----------|--|--|
| 等角       | $p=q=r$                                    | $p=q=r$                                    |
| 二角       | $p=q \neq r$ 或 $p=r \neq q$ 或 $q=r \neq p$ | $p=q \neq r$ 或 $p=r \neq q$ 或 $q=r \neq p$ |
| 三角       | $p \neq q \neq r$                          | $p \neq q \neq r$                          |

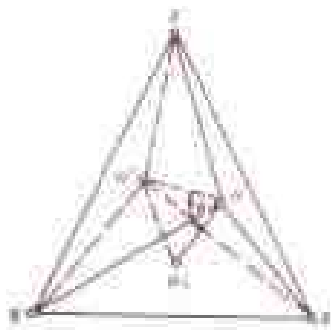


图7 轴测投影示意图

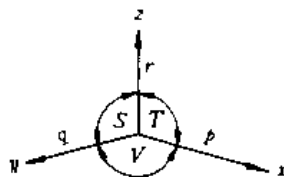


图8 轴测投影的轴间角

轴测投影中，三个坐标轴之间的角度称为轴间角（图8）。在斜角轴测投影中，相交于一点的任意三条直线皆可作为投影轴。轴间角度的大小，可以根据欲求轴测图的立体感和便于度量的要求选定。在直角轴测投影中，轴间角  $S$ 、 $T$ 、 $V$  与变形系数  $p$ 、 $q$ 、 $r$  间的关系如下：

$$\cos S = -\frac{\sqrt{p^2 + q^2 r^2} - 1}{qr}$$

$$\cos T = -\frac{\sqrt{q^2 + r^2 p^2} - 1}{rp}$$

$$\cos V = -\frac{\sqrt{r^2 + p^2 q^2} - 1}{pq}$$

因为  $S$ 、 $T$ 、 $V$  均大于  $90^\circ$ ，故其余弦值为负。

轴测投影图简称轴测图，多是由标高投影图编绘的。绘图时，通常令  $z$  轴处于竖直位置。为了说明轴测轴的分布，并便于从图上确定线段的长度，应在轴测图旁绘出轴测轴并注明轴测比例尺。编绘轴测图的主要目的在于清楚地表明所描绘空间物体（或复杂交错的井巷）各部分间的相互关系，所描绘的对象是局部的，可以选用假定坐标系。

**轴测投影图的作法。**把任何复杂的空间物体分解为若干特征点组成的集合，先作出各特征点的轴测投影，然后依其对应关系连接，并经修饰作出该物体的轴测投影图。

**点的轴测投影。**图9中的  $a'$  是某一假定坐标系中的空间一点  $A'$  ( $\Delta x'$ 、 $\Delta y'$ 、 $\Delta z'$ ) 的标高投影，今作其

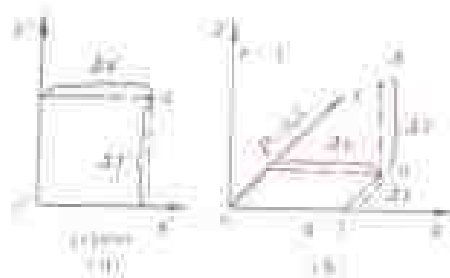


图9 点的轴测投影作法

轴测投影。先选定轴测投影种类及变形系数,例如斜角二测投影及  $p' = 0.5, q = r = 1$ 。在图纸上作出轴测坐标系,如图 9b,取  $p = \Delta x / \Delta x' = 0.5, q = \Delta y / \Delta y' = 1, r = \Delta z / \Delta z' = 1$ 。在轴测坐标系中,先按  $\Delta x, \Delta y$  展出点  $A'$  的二次投影点  $a$ ,过  $a$  作竖线并在其上截取  $\Delta z$  即得空间点  $A'$  的斜角二测投影点  $A$ 。图 10 是空间正方体的标高投影图及其斜角二测投影图。

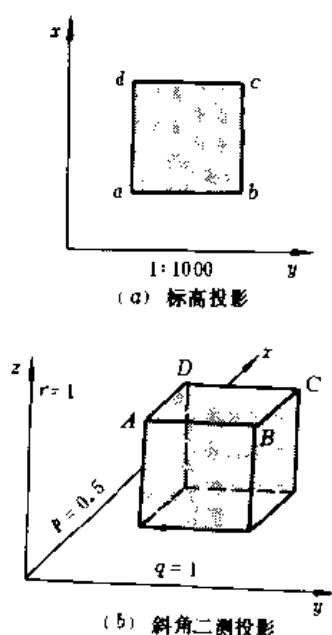


图 10 空间正方体的斜角二测投影图

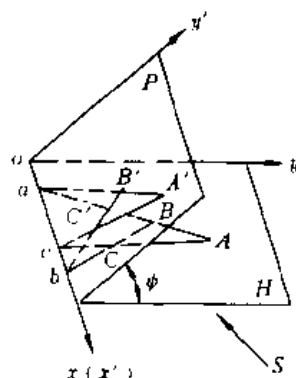


图 11 仿射投影

斜角仿射投影。在矿体几何学中多选用直角仿射投影和与仿射轴正交的斜角仿射投影。任意斜角仿射投影很少采用。

直角仿射投影 在图 12 中,主物面  $H$  为水平面,投影面  $P$  为倾斜面,两平面的夹角为  $\varphi$ ,仿射横轴  $ox'$  为一水平线,仿射横轴的正向与倾斜投影面的走向相同,投射方向  $S$  的倾角(仰角)为  $\varphi$ ,且与投影面  $P$  垂直。过主物面  $H$  上的点  $A$  作出与仿射横轴正交的竖直剖面如图 13。在此剖面图上,设在点  $A$  的正上方有一点  $B$  (其纵横坐标与点  $A$  的相同,但比点  $A$  高  $h$ ),点  $A$  和点  $B$  的仿射投影为点  $A'$  和点  $B'$ ,由图 12 及图 13 有:

$$x_{A'} = x_A, \quad y_{A'} = y_A \sin \varphi \quad (1)$$

$$x_{B'} = x_A, \quad y_{B'} = y_A \sin \varphi + h \cos \varphi \quad (2)$$

由此在  $x'$  轴方向的变形系数  $p=1$ ,  $y'$  轴方向的变形系数  $q=\sin \varphi$ ,而在  $z'$  轴方向的变形系数  $r=\cos \varphi$ 。对比式 (1) 与式 (2) 可知,在纵坐标换算中,式 (2) 比式 (1) 多了一项  $h \cos \varphi$ ,这说明原来在平面图上彼此重合而有高差  $h$  的两点  $A, B$ ,经仿射投影后,在投影面  $P$  上的投影不再重合而分为  $A'$  和  $B'$ 。因此仿射投影能反

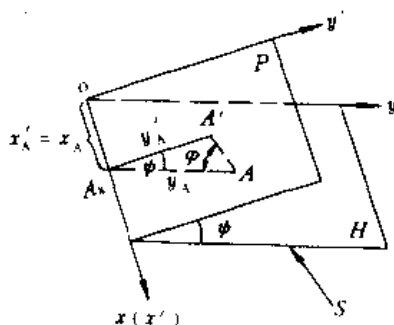


图 12 直角仿射投影

仿射投影 利用仿射投影变换法将主物面上的物体图形射影于投影面上的一种平行投影,是轴测投影的一种特殊情形。依据物体图形在不同水平上特征点的坐标变换为对应的仿射坐标,而获得该物体图的立体图象。图 11 中,  $H$  为主物面,  $P$  为投影面,两平面的夹角为  $\varphi$ ,两平面的交线  $ox$  取作仿射横轴  $ox'$ ,在  $P$  平面上与  $ox'$  垂直的方向取作仿射纵轴  $oy'$ 。  $S$  为射影方向。若主物面  $H$  上有三角形  $ABC$ ,按射影方向  $S$  射影于投影面  $P$  上,得对应三角形  $A'B'C'$ 。这样的变换称作仿射变换。过两对应直线  $AB$  与  $A'B'$ 、 $AC$  与  $A'C'$ 、 $BC$  与  $B'C'$  的平面将与主物面及投影面分别相交于点  $a, b, c$ ,且这些点均必在仿射横轴  $ox'$  上,即三角形对应边延长时将相交于仿射横轴上的一点。依投影方向与投影面的关系,仿射投影分为直角仿射投影与斜角仿射投影。当投影方向垂直于投影面时,称作直角仿射投影,否则称作斜角仿射投影。在斜角仿射投影中,若投射方向与仿射轴正交,则称作与仿射轴正交的斜角仿射投影;若投射方向与仿射轴斜交,则称作任意

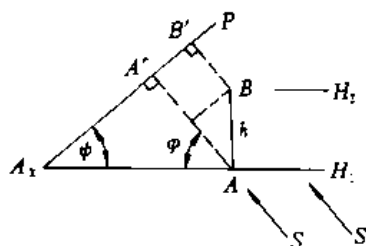


图 13 过主物面  $H$  上的点  $A$  与仿射横轴正交的竖直剖面

映物体的高度尺度,具有立体感。

与仿射轴正交的斜角仿射投影 在图 12 及图 13 中若投射方向  $S$  与投影面  $P$  斜交成  $\theta$  角,则过点  $A$  与仿射横轴正交的竖直剖面如图 14,对应点  $A'$  和  $B'$  的坐标为:

$$x_{A'} = x_A, \quad y_{A'} = \frac{y_A \sin \varphi}{\sin(\psi + \varphi)}$$

$$x_{B'} = x_A, \quad y_{B'} = \frac{y_A \sin \varphi}{\sin(\psi + \varphi)} + \frac{h \cos \varphi}{\sin(\psi + \varphi)}$$

由此相应仿射轴方向的变形系数

$$p = 1, \quad q = \frac{\sin \varphi}{\sin(\psi + \varphi)}, \quad r = \frac{\cos \varphi}{\sin(\psi + \varphi)}$$

在仿射轴方向上的变形系数间的关系,对于直角仿射投影

$$p^2 + q^2 + r^2 = 1$$

对于与仿射轴正交的斜角仿射投影

$$p^2 + q^2 + r^2 = 2 + \cot^2 \theta$$

仿射投影图的作法 根据标高投影图绘制仿射投影图的步骤为:①按上述公式中暂不考虑含  $h$  项而作出某一起始水平面内物体各特征点的仿射投影;②顾及含  $h$  项而作出上(或下)一水平面内物体各特征点的仿射投影。仿此直至作出物体全部水平面内物体各特征点的仿射投影。最后连接出物体的对应关系,并经修饰成立体感强的仿射投影图象。

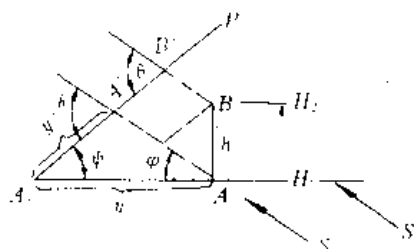


图 14 投射方向  $S$  与投影面斜交时,过主物面  $H$  上点  $A$  与仿射横轴正交的竖直剖面

仿射投影与轴测投影无实质性不同。

(何新义)

kuangti jihexue

**矿体几何学** (geometry of ore body) 利用数学模型和图象模型研究矿体形态和矿产特性分布及其变化的学科。目的在于解决矿体在地质勘探、开采设计和开采中遇到的空间几何问题。

在矿体勘探时期,研究矿体各种特性指标值的变化,确定勘探网密度,处理钻孔(勘探点)资料,确定最低工业品位、最小开采厚度与圈定矿体或可采边界,计算平均品位、金属储量或矿产储量。

在矿体开采设计时期,应用矿体几何图,帮助选定井口最佳位置,企业或工业场地的场址;制订矿体开采规划。

在矿体开采时期,运用采掘过程中揭露的大量矿体形态和矿产特性方面的信息,继续补充和修正原有的矿体几何图。对尚未查明的矿体的形态和特性进行预测,指示进一步勘探的方向;统计与计算矿井的产量、损失量和贫化程度,分析其原因,以便制定减少损失的措施;确定合理的损失定额与贫化率;按矿产品用户的质量要求,确定和保证矿石质量的合理匹配。此外,在煤炭生产中还着重研究按开采准备程度的各级煤炭储量圈算方法,计算各级煤炭储量及其可采期,评价采掘平衡关系。

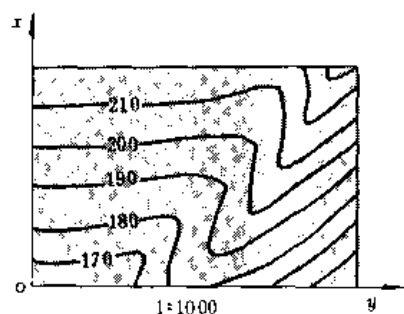
研究方法 应用地质场,主要是地球化学场理论、地形式面理论、投影理论、概率-数理统计及其他数学方法,紧密结合地质学、采矿学、测量学原理与知识,依据实测资料分析矿体的形态与特性指标值的变化,以及它们空间展布的几何特性;依开采准备程度、矿体特性变化程度、矿体研究程度或品位级别,计算和评价矿产储量。

描述方法有图式等值线法(图解模型)和函数拟合法(解析模型)。图式等值线法就是用等值线表示矿体的形状、性质等指标值的变化与空间展布情况。如图所示为某煤层的部分顶板等高线图。从图中可以看出该部分煤层的形态要素的变化:煤层走向在西部为东西,经南北转折至东部为北东;煤层倾角在西部较在东部为缓。函数拟合法就是对矿体指标值的实际观测数据整理后,选定与实际观测数据相吻合的某一数学函数来表示矿体的待求指标值。最常选用的多项式函数(模型)为:

$$\hat{c}(x, y) = \sum_{\beta=0}^n \sum_{\alpha=0}^n a_{\alpha\beta} x^\alpha y^\beta \quad (\alpha + \beta \leq n)$$

式中  $\hat{c}(x, y)$  系坐标为  $(x, y)$  的指标理论值;  $a_{\alpha\beta}$  为





某煤层的部分顶板等高线

多项式的系数； $n$  为多项式的幂。

**起源和发展** 20 世纪以前，矿体几何问题只是在论述地质勘探、采矿的问题或课程中，附带地介绍。1742 年，俄国学者 M. B. 罗蒙诺索夫 (M. B. Ломоносов) 最先应用几何学原理解决矿山生产中的实际问题。1805 年，A. И. 马克辛莫维奇 (A. И. Максимович) 编著了《实用地下几何学》。20 世纪以来，矿体几何学得到了巨大的发展，并成为独立的一门学科。1905 年，П. М. 列昂托夫斯基 (П. М. Леонтовский) 编著了《矿层位态要素》。1907 年，B. И. 包曼 (B. И. Бауман) 提出了包曼变位几何分类法。1908 年，包曼又提出了计算储量的包曼法。1925 年，П. К. 索波列夫斯基 (П. К. Соболевский) 首次提出，并于 1932 年完善发表了《地球化学场理论》。这些研究成果为矿体几何学成为一门独立学科奠定了理论基础。1965 年，B. A. 布克林斯基 (B. A. Букринский) 编著的《矿体几何实用教程》和 1985 年第二版《矿体几何学教程》中，更广泛、更系统地论述了处理和评价矿体几何制图数据的概率-数理统计法，论述了利用电子计算机拟合矿产特性指标值变化的数学模型，以及自动编绘矿体几何图的原理与技术。

20 世纪 50 年代以来，中国的一些高等院校的矿山测量专业设置了矿体几何学课程，开始了矿体几何学的理论研究与生产中的实际应用。1987 年编著出版了中国第一部矿体几何学教材。

**发展趋势** 随着矿业开发规模的扩大，勘探与生产过程的完全机械化与自动

化，今后将进一步发展自动编绘矿体几何图的理论、方法和技术。在理论上应当研究矿体形态和性质分布的结构关系，空间分布规律及分布的预测。按国民经济发展的要求，开展矿产品经济评价，以及研究更加符合生产要求的储量计算的理论与方法。

(何新义)

## kuangti jihe zhitu

### 矿体几何制图 (geometrization of ore body)

应用矿体几何学的理论和方法建立矿床的数学模型和图象模型等工作，即观测、系统编录和整理矿体勘探资料，分析和描述矿体形态、结构、矿产特性变化，依此建立矿体的图解模型或数学模型。矿体几何制图工作应循序渐进连续地进行。每一勘探工作后立即整理资料，获取有益信息，及时正确指导下阶段的勘探生产工作。矿体几何制图工作包括指标测量数据整理及等值线图的绘制。

**指标测量数据整理** 对取样测量数据整理的目的是尽可能地消除取样和测量指标值的偶然变化影响，求得一定范围内指标值的平均值，揭示指标值的变化规律。整理步骤和方法是：①对勘探取样指标值按一定间隔分组列表；②编绘指标值直方图或多边形图 (图 1)，并对相邻指标值相差十分悬殊的特高指标值先进行合理处理；③修匀经验曲线，其目的是剔除取样和确定指标值的偶然性误差影响。经验曲线的修匀可用解析法或图解法。解析修匀法就是选用某种数学函数确定某点的指标值 (纵坐标)。由于矿体形态和矿产特性变化的复杂性，这种数学函数只能表示某种程度的近似关系。解析修匀法主要采用抛物线公式计算修匀曲线的纵坐标。修匀抛物线公式的系数用最小二乘准则

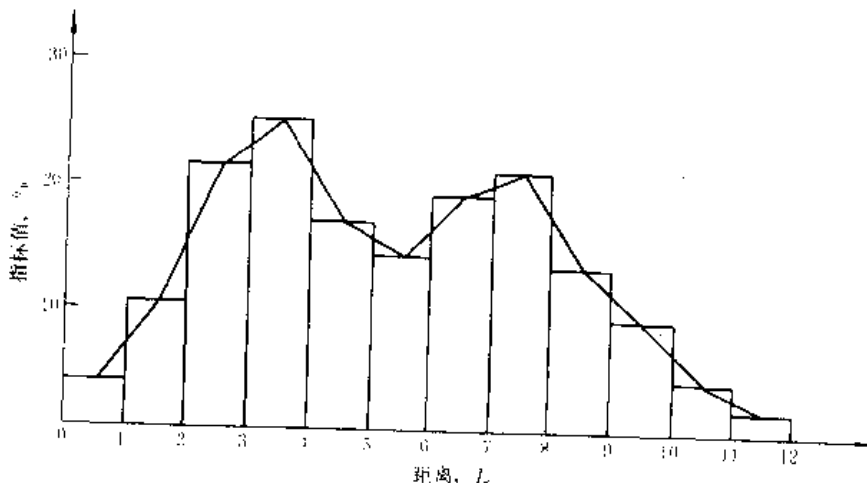


图 1 指标值直方图或多边形图

按条件  $\sum(Y' - y)^2 = \min$  确定, 式中  $Y'$  为修匀曲线的纵坐标值;  $y$  为经验曲线的纵坐标值。抛物线修匀的计算工作量很大, 特别在采用高次抛物线公式时更是如此。实际工作中, 一般采用图解修匀法, 有线修匀、面修匀和体修匀三种情况。

**线修匀** 沿巷道或钻孔取样时, 用横轴表示取样点的位置(距离), 纵轴表示矿产性质指标的取样分析值, 绘制出指标值的经验分布曲线(图2), 然后进行线修匀。线修匀有流动窗法和流动平均法。

(1) 流动窗法。分布曲线修匀时, 取大于指标值的值为长(高)及  $l$  为宽的矩形窗, 如图2中的  $ABCD$ , 沿指标分布方向(横轴), 每次流动步距为窗宽的一半( $l/2$ )。按窗构成之折线内(多边形图)使截入与截出之面积相等而作出水平线  $ab$ 、 $cd$ 、 $ef$ ……, 如图2中窗在 I 位置时的影线所示。水平线与窗宽平分线之交点, 即为修匀点 1、2、3……。连接各修匀点, 即得修匀曲线。若修匀曲线不满足预期的光滑程度, 则可改变窗宽或每次流动步距再修匀。

绘制等值线图时, 由纵坐标值上取等值线距的整数倍各点作平行于横轴的水平线与修匀的曲线相交, 将各交点投影于横轴上, 如图2中横轴上 5、10、15……所示各点, 即为该勘探线上指标值为所取等值距整数倍的各点。再将这点转绘到取样平面图的对勘探线上, 如图3所示的勘探线  $B-B$  对应于图2修匀的曲线。根据诸多勘探线上的这样的修匀结果就能绘制出指标值的等值线图。图3为根据巷道  $A-A$ 、 $B-B$ 、……、 $F-F$  的勘探分析资料经线修匀后绘制的指标值等值线图。

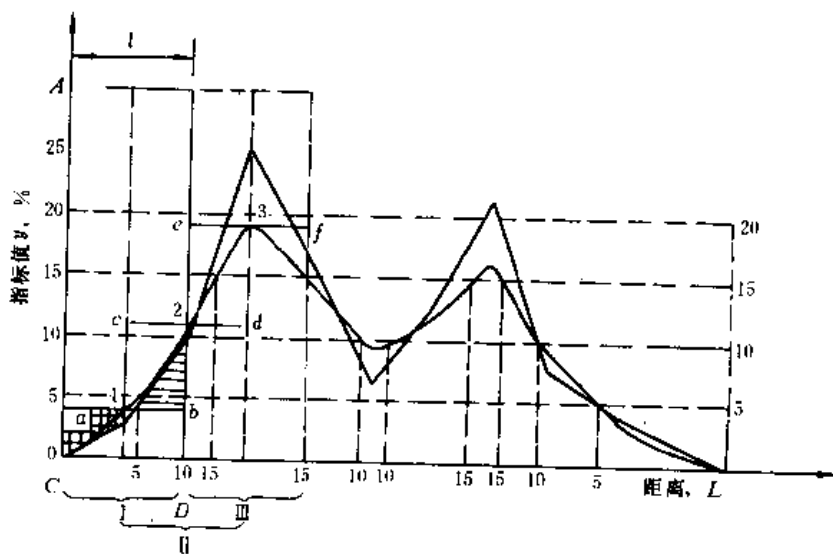


图2 线修匀流动窗法

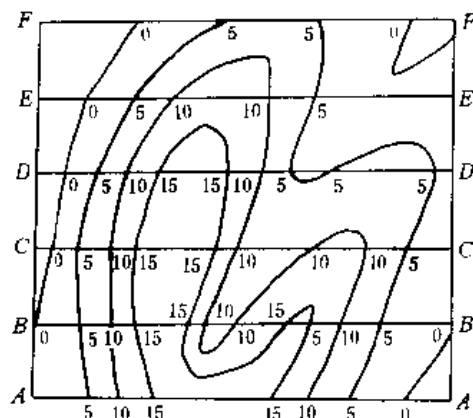


图3 指标值等值线图

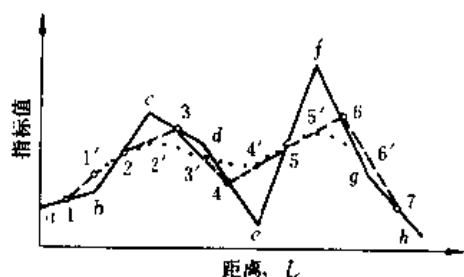


图4 线修匀流动平均法

(2) 流动平均法。勘探线上等间隔分布观测点时多采用此种方法。图4中  $a-b-c$ ……为指标值多边形图。先取各折线段  $ab$ 、 $bc$ 、 $cd$ ……的中点 1、2、3……。前后相邻两点指标值的平均值就是这些中点的指标值, 连接这些中点(图4中的虚线)即为第一次流动平均的修匀曲线。若其光滑程度未达到预期要求, 可继续仿此修匀。

上述两种修匀方法, 可以独立使用, 亦可联合使用。

**面修匀** 沿矿层面或矿体截面取半时采用, 面修匀有流动窗法和流动平均法。

(1) 流动窗法。取长宽均为  $l$  的正方形为窗(图5a)。先后依次沿平面上的两个方向进行修匀(图5b)。窗内各点指标值的平均值即为其中心点的指标值。每次流动步距为窗宽之

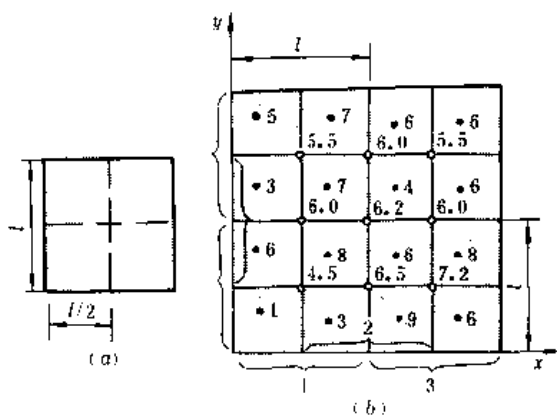


图5 面修匀流动窗法

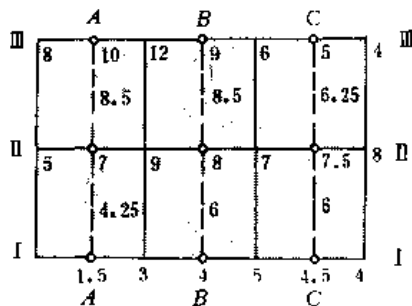


图6 面修匀流动平均法

半。若第一次修匀后指标值仍变化很大,还可作第二次修匀。根据修匀的指标值,勾绘指标值的等值线图。

(2) 流动平均法。如图6,将按规则格网观测求得的指标值,依其点展绘在平面图上。逐次沿各横线1-1、II-II……用线修匀流动平均法修匀,将所得平均值注于各对应线段的中点(图中小圆圈所示),使构成以虚线所表示出的纵线A-A、B-B……。用线修匀流动平均法再逐次对这些纵线上的新指标值进行修匀,所得平均值注于各对应线段中点(图中小黑点所示)。最后根据指标值的修匀值勾绘指标值的等值线图。

**体修匀** 将某一开采阶段范围内的矿体划分为底面大体相等的若干垂直棱柱体,如图7划分成13个棱柱体。对每一垂直棱柱体用间隔高等于三个开采分层的平行平面再截分为若干个短棱柱体。图8为在图7中任取的某一棱柱体按三个开采分层的间隔高截分出6个短棱柱体1、2、3、4、5、6。于是每一个短棱柱体在垂直方向上相互依次重叠了两个开采分层厚。依这种方式求出各短棱柱体的指标平均值,作为该短棱柱中间开采分层中心点的指标值。这种划分和修匀方式就称作体修匀。在开采范围内,根据得出的各相

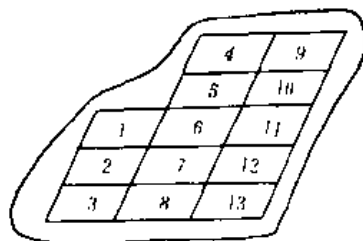


图7 划分垂直棱柱体

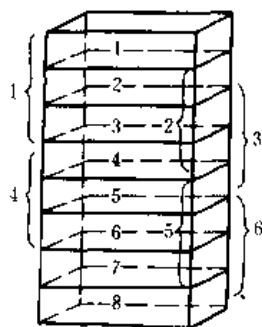


图8 截分短棱柱体

应开采分层指标平均值,绘制开采分层的指标值的等值线图。

**等值线图的绘制** 等值线是表示矿体指标值变化的一种主要方式。绘制等值线图的基本原则是:①不应使绘制的等值线图脱离实际的地质条件;②不应丢掉或忽略对矿体有决定影响的地质构造因素如断层、褶曲等。绘制矿体指标值等值线图的比例尺,应适合生产

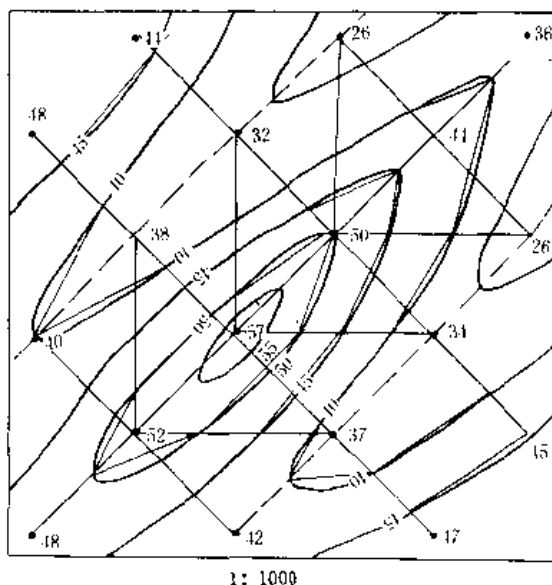


图9 定形线法绘制等值线图

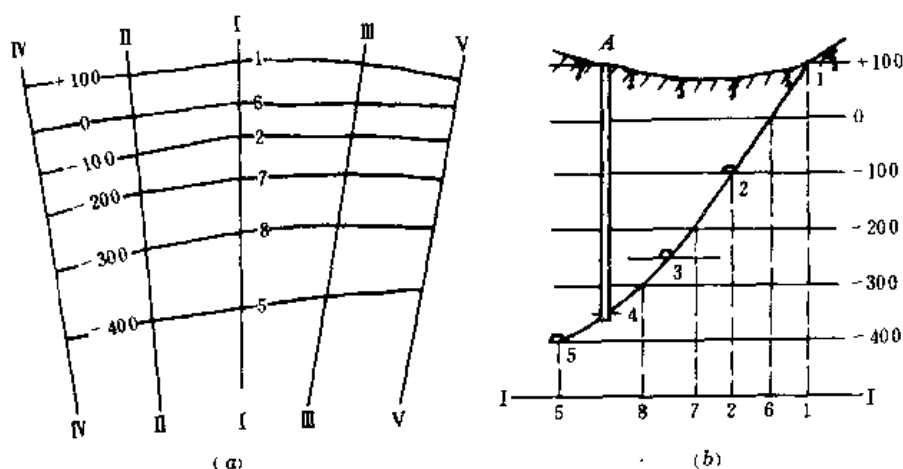


图 10 垂直剖面法绘制等值线图

需要和使用方便，一般采用与基本矿山测量图相同的比例尺。等值线图的等值距应满足绘出的等值线图图形清晰和生产要求，并与所依据的规则、整理数据精度、指标值变化程度和研究程度相适应。常见的以等值线表示的矿体几何图有：矿体顶（底）板等高线图，矿体埋藏等深线图，矿体等厚线图，矿体性质变化、储量分布与计算图等。等值线图的绘制方法最常用的有定形线法和垂直剖面法。

**定形线法** 根据指标值点的坐标，将各点展绘在平面图上，并在点旁注明该点的指标值（图 9）。根据地质构造特征及其他制约因素与变化规律，对指标值点的分布作地质和几何的分析，画出矿体构造、形状、性质变化和分布特征的定形线。图 9 中，指标值大于其旁侧毗邻点的那些特征点的连线，称正定形线（用细实线表示）；指标值小于其旁侧毗邻点的那些特征点的连线，称负定形线（用虚线表示）。定形线有助于了解和确定指标值变化的总趋势，便于用直线变化的斜坡线来确定相邻两点间指标值的变化，避免和减少由于主观臆断而可能发生的“悬空”或“穿透”错误。在定形线和斜坡线上进行直线分节，求出所选定等值距

整倍数的指标值点。过等值点以细线连接成折线，再依地形式面的光滑性对折线作光滑修匀，得出光滑的等值线。

**垂直剖面法** 在垂直矿层走向剖面内有较多的勘探资料时采用。垂直剖面法的基本要求是：垂直剖面应与矿层走向正交，应包括在此剖面内的矿层全部勘探点成果；剖面应依据勘探点的测量成果编绘。图 10a 的剖面线 I—I 上，地面点 1 为矿层的露头，在此剖面内井下 -100m 的点 2、-250m 的点 3、-400m 的点 5 诸巷道处及由地面 A 点的钻孔于 -350m 处，均见到该矿层。根据矿层在各观测点（勘探点）的测量资料编绘出剖面图 I—I（图 10b）。在此剖面图上，自 +100~-400m 画出相距为 100m 的水平线，各水平线与矿层相交，将这些交点投影于 I—I 剖面图上得 1、6、2、7、8、5 各点。再把这些投影点转绘到平面图的相应剖面线上，并注明点的高程（指标值）。仿此求出其余剖面线上的高程点。用直线连接对应等高点，并作光滑修匀，便勾绘出光滑的等高线。图 10a 为该矿层的顶板等高线图。

（何新义）

## L

lijing shigong celiang

**立井施工测量** (construction survey for shaft sinking)

为保证立井竖直度和断面及井筒装备按设计要求施工的测量工作。立井井筒掘进和砌壁必须严格按设计进行,依据井筒十字中线(见立井十字中线标定)在井筒中悬挂井筒中心线和若干边线,指示井筒掘进和砌壁等工作,使井筒断面符合设计要求,井壁竖直。依井口高程基点,在井筒内设立高程点,以控制各项工程的高程位置。主要内容包括锁口标定,井筒中心垂线标定,井筒掘进和砌壁测量,井筒竖直程度测量,罐梁、罐道安装测量。

锁口标定 井筒锁口分为临时锁口和永久锁口。

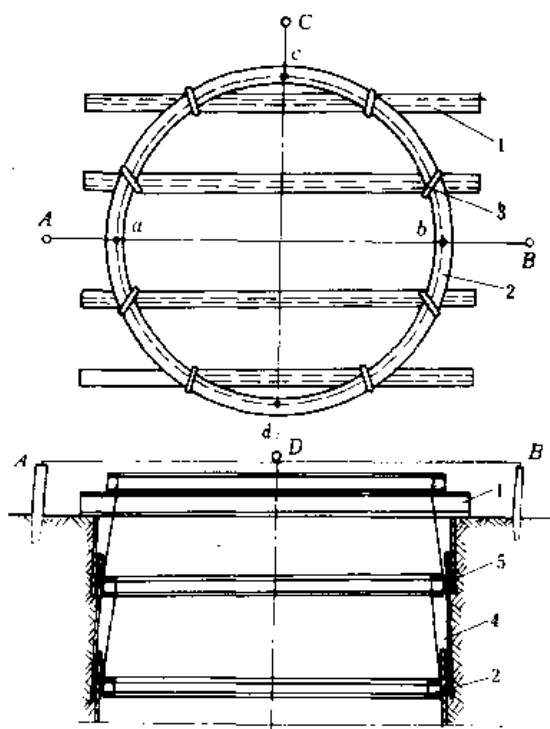


图1 临时锁口标定

1—钢轨或工字钢; 2—井圈; 3—U形卡子;  
4—挂钩; 5—背板

临时锁口一般采用八角形木质或圆形钢质结构。标定前先检查尺寸,并在其顶面标出四个十字线点 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ 。在井筒四侧设置大木桩,桩上标出井筒十字中线点 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 。安设锁口时,依据 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ 找正 $a$ 、 $b$ 、 $c$ 、 $d$ (图1)。用经纬仪将井筒十字中线精确标定在井圈(框)边上,并用水准仪将锁口抄平。

永久锁口标定时(图2),在井筒四侧的十字中线上打4根大木桩,于其顶面标出十字中线点 $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$ ,并测量高程。在 $AB$ 、 $CD$ 间拉紧细钢丝,于交点处挂中心垂线,两端挂边垂线,作为找正锁口模板的依据;由钢丝向下丈量规定的垂距,标定出模板底面和顶面高程,同时抄平顶、底面。依据边垂线检查模板竖直程度。浇灌锁口时,在十字中线方向上的井颈内侧预埋两对扒钉,用经纬仪在扒钉上标出井筒十字中线点。

井筒中心垂线标定 井口封口盘铺设好后,在封口盘上标设井筒中心垂线点,以便下放井筒中心垂球

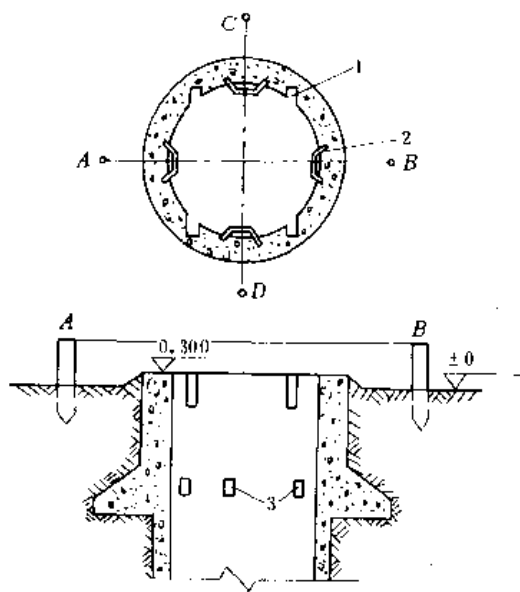


图2 永久锁口标定

1—板梁预留口; 2—十字中线扒钉; 3—梁窝



一定高度沿井筒直径方向丈量垂线至井壁的距离,根据丈量结果绘制井壁竖直程度图。

**罐梁安装测量** 按照罐梁的设计位置,依据井筒十字中线下放 4~6 根垂线,以控制罐梁的平面位置。先安装第一盘罐梁,其中主梁位置依据垂线用特制的型规找正,梁面高程依据井口水准基点用水准仪标定,并抄平;副梁位置依据垂线和缺口型规找正,借助水平间距尺使其与主梁平行;梁面高程用水准仪标定,使其与主梁同高,并抄平;小梁的位置用模尺确定。第一层罐梁安装完毕后,检测罐梁两端的高差,丈量主十字中线到各罐梁两端的平距,丈量十字中线到梁上罐道缺口中心的平距,符合设计要求后进行固定。

第一层罐梁安装好后,将垂线移设到第一层梁上,并用卡线板固定垂线位置。以下各层罐梁安装时,依据垂线找正平面位置,用水平尺或合象水平仪抄平梁面,上、下层间的垂距用层间距型规确定。每安装 8~10

层,用钢尺自第一层梁向下检测总间距,如与设计不符,必须在下一层安装时找回差值。全部罐梁安装完毕,进行检查,其结果应符合有关规范要求。

**罐道安装测量** 主要是检测罐道竖直程度。在每根罐道附近,由井口挂一根垂线,并测定其相对于井筒十字中线的位置。于每层罐梁处丈量垂线至各罐梁、罐道的平距,及同一提升容器两罐道间的平距。根据测量成果,绘制每根罐道的正面和侧面竖直程度图。

钢丝绳罐道安装时,主要任务是标定井上、下定位梁和固定架的位置。标定井上钢丝绳及固定架位置时,先将井塔中有关平台上的井筒十字中线点转设到高于定位梁和固定架水平的井塔墙壁上,用扒钉固定。安装钢丝绳时,在扒钉间拉起细铁丝,挂上垂线,以此找正平面位置;定位梁的高程位置依据平台上的高程点用水准仪和钢尺标定,同时抄平梁面。井底平台钢梁和定位梁标定时,在马头门下方设一测量盘,用摆动投点法

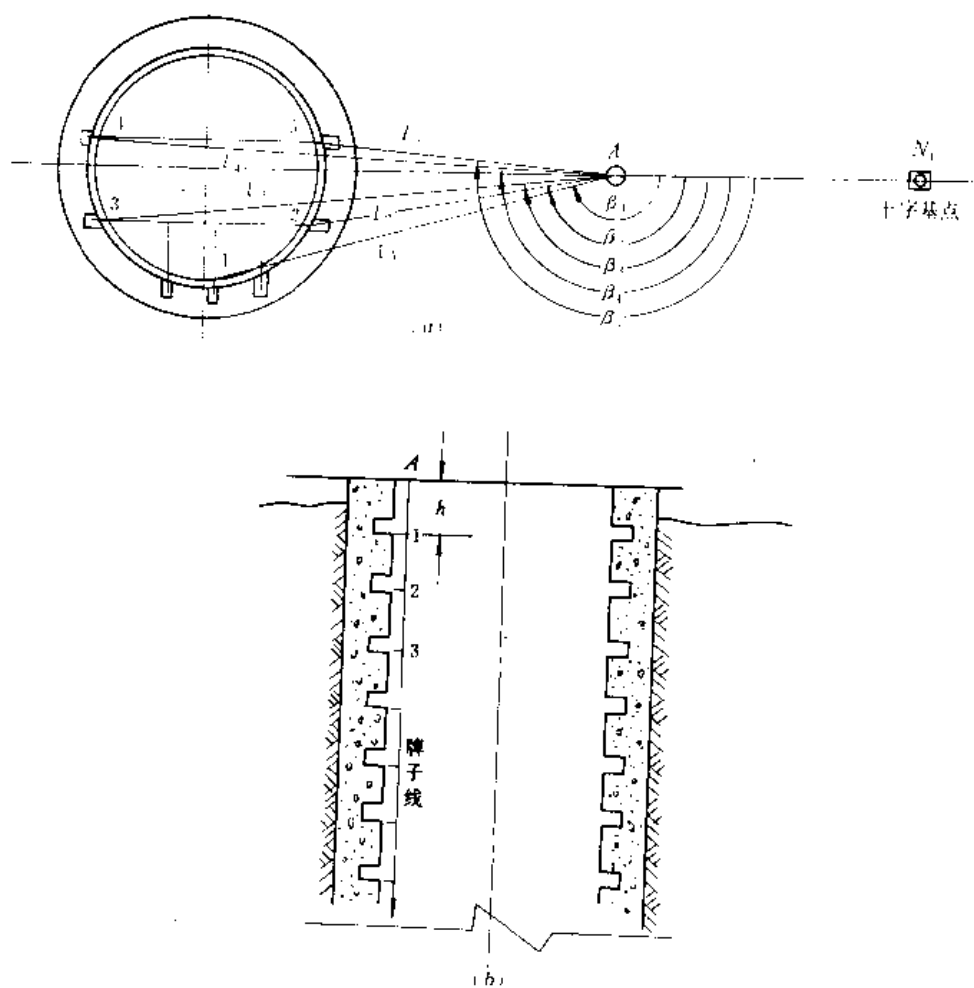


图 5 标定梁窝位置

(见几何定向)将井筒中心和井筒十字中线上的四个边垂球线点投到盘上,用定点板固定,再经定点板挂垂球线,作为找正钢丝绳位置的依据。平台及梁的高程由马头门上方的井壁高程点来标定,并用合象水平仪抄平。

(刘 林)

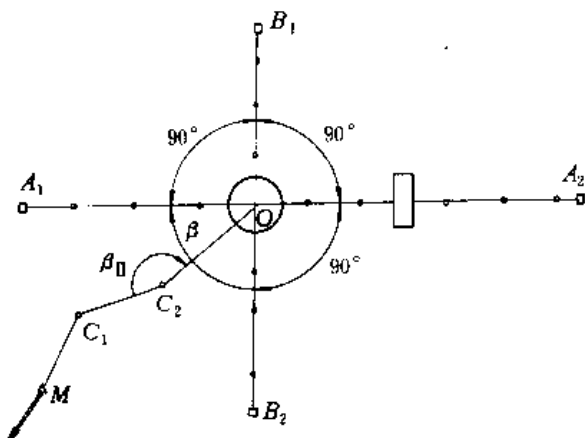
### lijing shizi zhongxian biaoding

**立井十字中线标定** (setting-out of cross line through shaft center)

按设计位置及方向将立井十字中线标定于实地的测量工作。立井井筒十字中线是通过井筒中心的两条互相垂直的方向线,其中与井筒提升中线平行或重合的一条叫主十字中线。井筒十字中线是工业场地总平面设计和各种建筑物位置设计的基础,是工业场地内各种建筑物和构筑物施工测量的基本控制,又是矿井改(扩)建和维修等工程设计和施工测量的依据。井筒十字中线标定工作包括:基点位置设计、基点标定和基点埋设。

**基点位置设计** 在工业场地总平面图和施工总平面图上进行。避开永久和临时建筑物,在井筒每侧十字中线上各设置3个基点。基点间距应大于20m,基点顶面高程应大致等于工业场地设计高程。

**基点标定** 一般在工业场地施工前完成。标定方法根据现场实际情况确定。常用的方法是:由近井点 $M$ 起(见图),用导线测量设置点 $C_2$ ,在 $C_2$ 上用极坐标法(见建井测量)标定井筒中心点 $O$ 。然后将经纬仪安置于 $O$ 点,按计算的角度 $\beta$ 、 $\beta+90^\circ$ 、 $\beta+180^\circ$ 、 $\beta+270^\circ$ ,在十字中线方向上标定出 $A_1$ 、 $B_1$ 、 $A_2$ 、 $B_2$ 4点,并用方向观测法(见水平角测量)检测十字中线的垂直度。在十字中线上按设计标出基点位置,并埋设基点桩,再在基点桩上精确标出基点点位。基点标定之后,



立井十字中线标定图

施测基点实际位置,绘制井筒十字中线基点平面位置图。

**基点埋设** 基点结构应根据表土含水量、流沙层和冻结层的深度、地表非采矿沉陷条件、地面设计高程与实际高程的差值等条件选定。埋设深度应在冻结深度以下0.5m左右。为了保护基点,在工业场地施工阶段,基点周围加设围栏。当基点受到损坏时,应根据未动基点及时补设。

(田佩俊)

### lutian caichang bianbang yidong celiang

**露天采场边帮移动测量** (displacement survey of pit slope)

为了解露天采场边帮的移动量与稳定性,研究在不同工程地质、水文地质和采矿条件下的边帮移动规律,而对设置在露天采场边帮上的观测点(站)所进行的测量。观测的内容主要有:①边帮岩体上不同点在空间的移动及其过程;②滑落体的大小、形状和滑落方向;③滑落面的形状、大小、倾角及其位置;④边帮岩体移动对采矿工程和边帮上各种建(构)筑物(铁路、房屋、输电线等)的危害程度。

**观测站的设置** 露天采场边帮观测站一般由多条观测线组成。观测线的数量根据地质、采矿条件和设站目的确定。观测线沿大致垂直于露天采场边帮走向布设,并设在具有地质构造、薄弱岩层、易产生滑坡的地带。

每条观测线由控制点和观测点组成,观测点分坑内观测点和坑外观测点。观测线长度按露天矿坑深度和边帮长度确定(图1)。

控制点设在边帮移动范围以外的稳定地区,且至露天矿第一阶段段肩的距离大于露天矿坑的深度 $H$ (图1)。控制点至少要设两个,其间距大于20m。

坑内观测点间距离根据露天矿坑深度、阶段平盘高度和宽度确定,在每个阶段上至少于段肩和段脚附近各设一个点。阶段平盘上观测点的布置应考虑测量方便和观测人员的安全。坑外观测点间距离可按下表

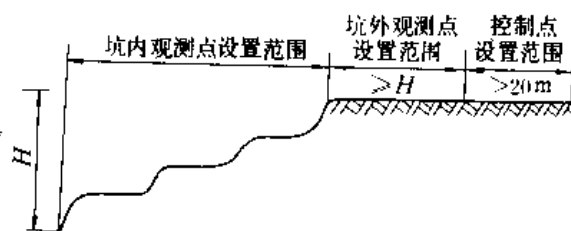


图1 露天采场边帮观测线长度的确定



确定。

坑外观测点间距离

| 露天矿坑深度 (m) | 坑外观测点间距离 (m) |
|------------|--------------|
| <100       | 5~10         |
| 100~200    | 10~20        |
| >200       | 20~30        |

测量工作 包括连接测量、初始观测、预测、滑坡期测量。

(1) 连接测量。根据矿区地面控制网, 接近并点测量的要求测量某一控制点的平面坐标和高程。其余控制点的平面坐标用露天矿一级经纬仪导线的观测方法求得。

(2) 初始观测。根据控制点的坐标和高程测出所有观测点的坐标和高程。此项工作应进行两次, 取其平均值作为原始数据。

(3) 预测。为确定边坡开始滑动的的时间而进行的平面坐标和高程测量。当观测点的水平移动或下沉大于 30mm 时, 即认为滑坡期已开始。

(4) 滑坡期测量。在边坡滑动以后, 对观测站应进行平面坐标、高程、距离和裂缝等测量。一般每月观测一次, 当滑动速度快、变形大时, 应适当缩短观测时间间隔。

观测资料的整理 先建立三维假定坐标系:  $W$  轴是沿铅垂方向;  $x'$  轴是沿观测线方向 (水平面内);  $y'$  轴是垂直于观测线方向 (水平面内)。根据观测资料按下列各式计算移动、变形值, 并绘制相应移动向量图, 分析边坡滑落面。

(1) 移动和变形的计算:

$$\text{下沉} \quad W_n = H_n - H_{0n}$$

$$\text{下沉速度} \quad V_n = \Delta W_n / \Delta T_n$$

$$\text{水平移动} \quad U_n = x'_n - x'_{0n}$$

$$\text{水平变形} \quad \epsilon_{n-n-1} = \frac{\Delta x'_{n-n-1} - \Delta x'_{0n-n-1}}{\Delta x'_{0n-n-1}}$$

$$\text{测点在垂直面内的移动向量} \quad d'_n = \sqrt{W_n^2 + U_n^2}$$

测点在水平面内的移动向量

$$d''_n = \sqrt{(x'_n - x'_{0n})^2 + (y'_n - y'_{0n})^2}$$

$$\text{测点空间的移动向量} \quad d'_n = \sqrt{W_n^2 + d''_n^2}$$

$$\text{移动向量的坐标方位角} \quad \alpha_n = \arctg \frac{y'_n - y'_{0n}}{x'_n - x'_{0n}}$$

式中  $H_{0n}$ 、 $H_n$  分别为  $n$  号点滑动前、后的高程;  $\Delta W_n$  为  $n$  号点两次观测的下沉值之差;  $\Delta T_n$  为  $n$  号点两次观测的时间间隔;  $x'_{0n}$ 、 $x'_n$  分别为  $n$  号点滑动前、后的  $x'$  坐标;  $y'_{0n}$ 、 $y'_n$  分别为  $n$  号点滑动前、后的  $y'$  坐标。

(2) 绘制的图纸。有观测区域地形图、观测线地质

断面图、观测线垂直下沉曲线图、观测点水平移动与水平变形曲线图和观测点在垂直面内的移动向量图。

(3) 绘制滑落面步骤 (图 2)。①在绘有竖直面内

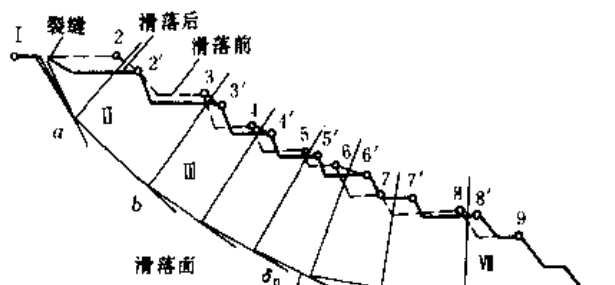


图 2 滑落面的图解法

移动向量 (比例尺与边坡剖面图相同) 的观测线剖面图上, 自各测点移动向量的中点分别向下作垂直于移动向量的直线, 如图 2 中自 2-2' 点的中点引垂线 I, 自 3-3' 点的中点引垂线 II, ……最后自 8-8' 点的中点引垂线 VIII; ②自滑落面的上部裂缝外侧起, 作与移动向量 2-2' 的平行线, 与该向量的中垂线 I 交于一点  $a$ , 再由  $a$  点作与移动向量 3-3' 的平行线, 与该向量的中垂线 II 交于一点  $b$ , ……依此类推, 直至下部滑落面隆起线外侧为止; ③用圆滑曲线将各交点连接起来, 即为滑落面的近似形状。

(虞万波)

## 露天采场测量

(open-pit survey) 在露天矿生产过程中, 为了及时了解生产的进展情况、作业机械的位置、工作平盘要素、矿石的产量和岩石的剥离量, 以及配合开沟和爆破工程所进行的测量工作, 包括: 采场验收测量、技术境界测量、开掘沟道测量和爆破工程测量。

采场验收测量 对采场的生产活动进行的测量工作。包括: 测量采剥工作面的位置并绘制采剥工程平面、断面图, 验收采剥面规格质量, 计算岩石的剥离量和矿石的采出量。

(1) 验收测量的主要对象。采剥阶段的段肩和段脚, 阶段平盘上的岩石堆, 主要机械的位置, 露天矿内的运输线路, 地质勘探用的井巷, 空巷、火区及水淹区, 崩岩及水源, 露天矿内的排水设施及泄水井巷, 绞车道、栈桥、变电所和车库等的位置, 大爆破用的井巷和洞室。

(2) 验收测量方法。通常采用极坐标法, 即用经纬仪测量水平角, 用视距法或光电测距法测量距离。如图

1 所示, 将经纬仪或光电测距仪安于 -36 平盘上的工作控制点  $P$  上, 根据基本控制点  $M$  定向, 然后顺次瞄准立于段肩的 1、2、3……和段脚的 1'、2'、3'……各点上的视距尺或反射棱镜, 测取水平角和距离以确定各测点的位置。在露煤平盘验收时应同时测定地质点的位置, 如 2、2'、4'、7'、8' 等点。

(3) 绘图和算量。验收测量的内业工作主要是绘图和算量。绘图包括绘制分阶段采剥工程平面图和断面图。分阶段采剥工程平面图是依据外业所测得数据直接绘制而成, 是绘制其它矿图的基础。垂直断面图则是根据平面图转绘而成。验收量用垂直断面法和水平断面法计算。

**垂直断面法** 当采剥平盘的坡顶线和坡底线较长而且近似直线时使用。一个计算区段的体积用下式计算:

$$V = S_1 l' + \left( \frac{S_1 + S_n}{2} + S_2 + S_3 + \dots + S_{n-1} \right) l + S_n l''$$

式中  $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ 、……、 $S_n$  为按一定间距 (20m 或 30m) 所绘垂直断面图的断面积;  $l'$  为采剥起点至第一个断面的距离;  $l''$  为第  $n$  个断面至采剥终点的距离;  $l$  为断面间距。如验收的是矿石, 则验收重量  $Q = VR$ ,  $R$  是密度。

**水平断面法** 当采剥平盘的坡顶线和坡底线形状较复杂而段高较稳定时采用。一个计算区段的采剥体积用下式计算:

$$V = \frac{S_1 + S_2}{2} h_{\text{平均}}$$

式中  $S_1$  为上平盘验收期内被采剥的面积;  $S_2$  为下平盘验收期内被采剥的面积;  $h_{\text{平均}}$  为计算区段内上、下平

盘间的平均段高。如验收的是矿石, 则验收重量  $Q = VR$ ,  $R$  是密度。

验收量一般以月为单位计算。但验收测量不可能恰好在每月末进行, 故当月的全月验收量  $V_{\text{月}}$  需用下式计算:

$$V_{\text{月}} = V_{\text{验}} + V_{\text{本}} - V_{\text{上}}$$

式中  $V_{\text{验}}$  为由上月验收时间到本月验收时间的验收量;  $V_{\text{本}}$  为由本月验收时间到本月末的生产统计量;  $V_{\text{上}}$  为上月验收时间到上月末的生产统计量。如为矿石则为:

$$Q_{\text{月}} = Q_{\text{验}} + Q_{\text{本}} - Q_{\text{上}}$$

**技术境界测量** 技术境界是指露天矿最终境界, 滑坡处理境界, 下线站场境界, 露煤工程境界以及年、季、月的设计计划境界等。境界测量即为在现场标定这些境界的位置。标定时可用极坐标法和断面线法。

**极坐标法** 如图 2a 所示,  $P$  为一已知工作控制点, 1、2、3、4、5 为设计给出的境界点, 可依据工作控制点和境界点的坐标算出标定数据  $\alpha$  角及平距  $m_i$ 。在  $P$  点安置经纬仪, 依据算出的标定数据, 将各个境界点标设于实地。

**断面线法** 如露天矿工作控制网用断面线法测定, 可用此法。如图 2b 所示, 10 和 11 均为断面上工作控制点, 此时只需计算出或是从图上量出工作控制点 10 距境界点的距离, 即可将境界点在现场标设出来。

**开掘沟道测量** 在露天矿建设和生产时期, 由于剥离、露煤和延伸工程的需要, 要开挖出沟、入沟和开段沟。这些沟道的平面位置和坡度都是设计好的, 在开挖过程中所进行的测量工作称为开掘沟道测量。

在沟道测量开始前, 应具有沟道平面图、沟道纵断

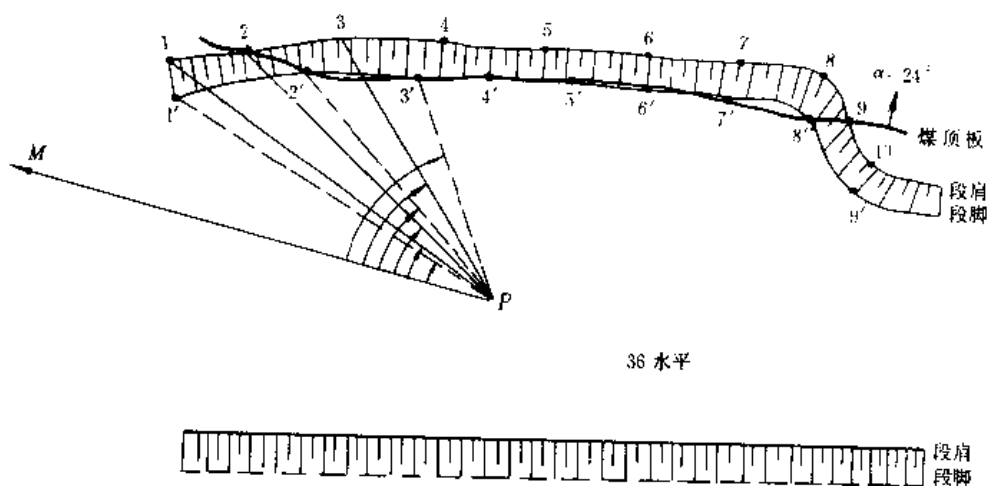


图 1 验收测量

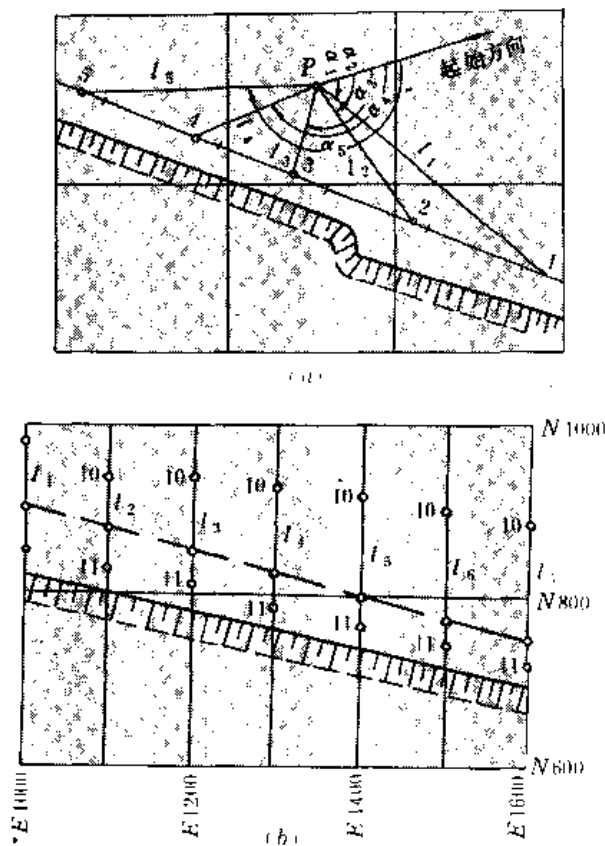


图2 技术境界标定

面图、沟道横断面图等图纸资料。依据这些资料可以求出沟道中心线的设计方位角和沟道起始点的坐标、各段中心线的设计高程和沟道设计坡度、沟道的宽度和沟道两帮的坡面角等。根据施工方式的不同,沟道开挖可分为沿陡坡开掘出入沟、用上装车方式或用吊斗式电铲开掘沟道以及用爆破法开掘沟道(图3)。

不论采用何种方式开掘沟道,其测量工作综合起来为:标定沟道中心线(点),如图3a的点3、4,图3b、图3c的点V、VI;标定沟道的肩线(点),如图3b、图3c的点4、5、6;标定沟道的高程;沟道开掘以后的验收测量。

**爆破工程测量** 露天矿爆破工作的质量与炮孔间距、炮孔距坡顶线的距离、阶段高度、最小抵抗线的数值、超钻值、炸药质量和装药量等因素有关,为提供上述参数与爆破区图纸所进行的测量工作。

测量内容为:①提供爆破区的采掘工程平面图和断面图。②炮孔位置的测定,即将设计图纸上设计好的炮孔位置标定于现场和将钻好的炮孔位置测绘于图上。③爆破区的测量工作,包括:测定爆破区内的坡顶线、坡底线、炮孔位置、孔间距、靠近段肩的炮孔中心距坡顶线的距离和构筑物的位置,爆破区内段肩、段脚、炮孔口的高程测量,测绘通过炮孔中心并垂直于坡顶线的阶段横断面图,测定炮孔深度的孔深测量。④爆破测量的内业工作,包括根据爆破测量的外业成果绘

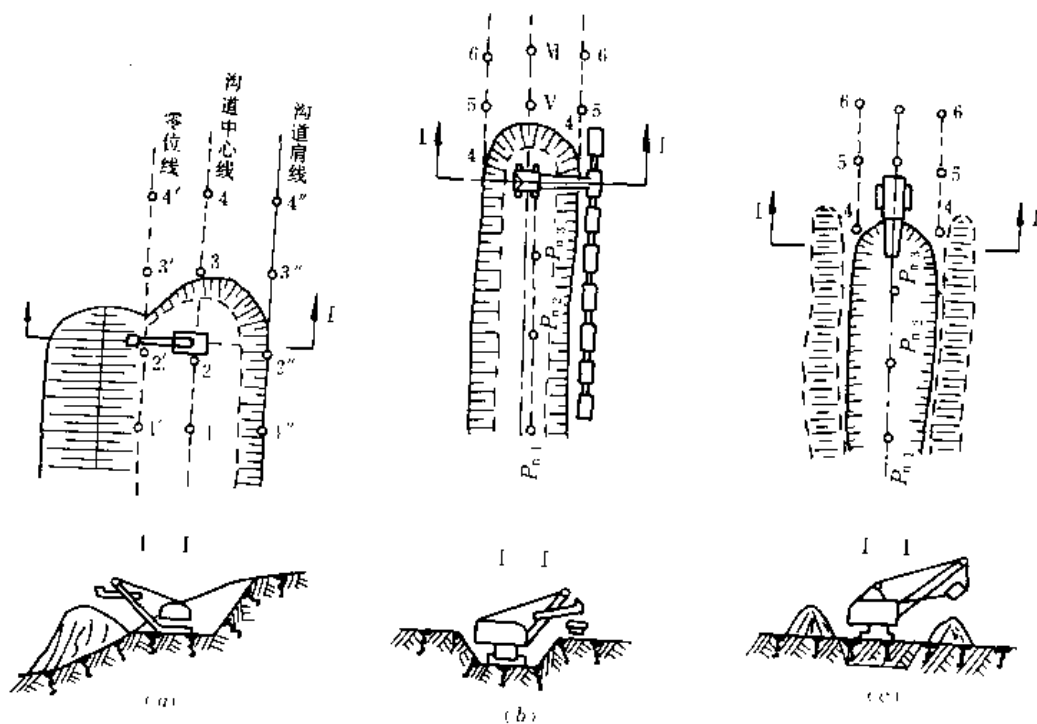


图3 开掘沟道测量

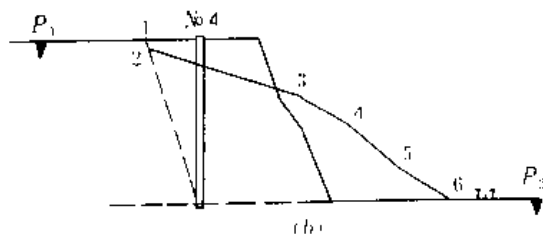
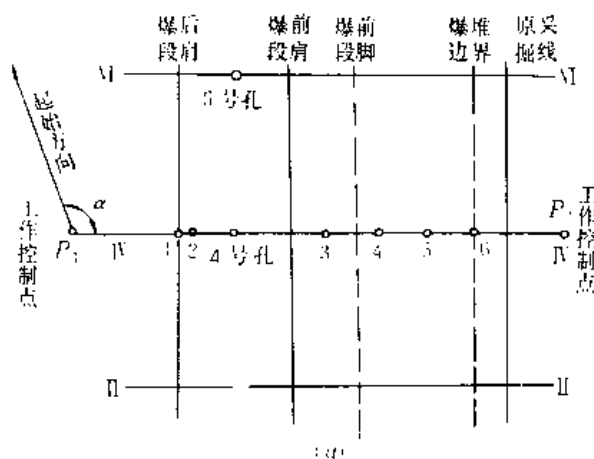


图 4 爆破验收测量

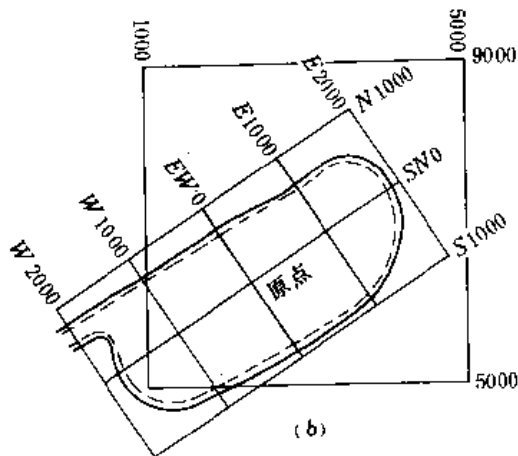
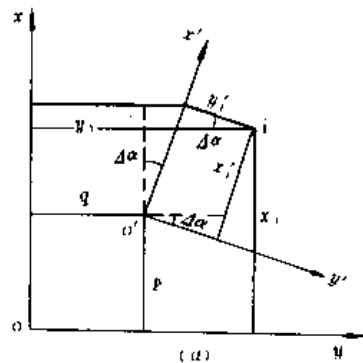
制爆破区的平面图,绘制通过炮孔中心的垂直断面图,确定最小抵抗线和底盘抵抗线的数值,计算爆破量。⑤爆破验收测量,测量的目的是检查和鉴定爆破工作的质量和效果。该项测量是沿爆破前已在地面上固定了的断面线进行,即测定爆破后的段肩、爆堆边界以及爆堆面上特征点的位置和高程。据此可绘制爆破后的垂直断面图,如图4所示。当电铲采掘完后,可测定采堆位置并可计算出爆破区的采出量,用此和预计的爆破量相比较,可以检验爆破工作的效果。

(连荫海)

lutian caichang zuobiao xitong

## 露天采场坐标系统 (open-pit coordinate sys-

tem) 露天煤矿生产和工程建设所采用的采场独立坐标系统,可在图上选定。坐标原点宜选在采场中部的某一倾斜勘探线与煤层走向勘探线的交点,坐标纵轴( $x$ 轴)应尽量选取煤层的倾向方向。用图解法确定坐标原点在矿区坐标系统中的坐标( $p$ 、 $q$ )和坐标纵轴线的坐标方位角( $\Delta\alpha$ )(图 $a$ ),并使原点在矿区坐标系统中的坐标是10m的整倍数,纵轴的坐标方位角是 $10'$ 的整倍数。图 $b$ 为采场坐标系统和矿区坐标系统对照图,大方格网为矿区坐标系统,小方格网中的 $EW0$ 和 $SN0$ 为采场坐标系的坐标轴,两坐标轴线的交点为其坐标原点。



两坐标系对照图

两个坐标系统要进行连测，以便通过坐标换算来统一矿区的测绘资料。露天矿基本控制点及重要的工作控制点、重要建筑物中心点、重要工程基点、钻孔点等应具有两个坐标系统中的坐标，并编制坐标对照表。为此须进行坐标换算，如图 a， $xoy$ 、 $x'o'y'$  分别为矿区坐标系统和采场坐标系统。 $i$  点的坐标换算公式为：

$$x'_i = \frac{\cos \Delta \alpha (x_i - p) + \sin \Delta \alpha (y_i - q)}{K}$$

$$y'_i = \frac{\cos \Delta \alpha (y_i - q) - \sin \Delta \alpha (x_i - p)}{K}$$

及

$$x_1 = p + x'_1 K \cos \Delta \alpha - y'_1 K \sin \Delta \alpha$$

$$y_i = q + y'_i K \cos \Delta \alpha - x'_i K \sin \Delta \alpha$$

式中  $x_i$ 、 $y_i$  及  $x'_i$ 、 $y'_i$  分别为  $i$  点在矿区坐标系及采场坐标系中的纵、横坐标； $p$ 、 $q$  为采场坐标系统的坐标原点在矿区坐标系中的坐标； $\Delta\alpha$  为采场坐标系统的纵坐标轴在矿区坐标系中的坐标方位角； $K$  为矿区坐标系与采场坐标系间的边长比例系数。

为简化日常测量的内业计算和避免边长投影后的变形,宜采用采场平均高程面为采场坐标系统的投影



水准面。通过边长比例系数  $K$ ，将矿区坐标系统的边长化算到采场投影水准面上和通过采场坐标系统原点的平面坐标系统中。比例系数  $K$  可按式计算：

$$K = \frac{1}{1 + \frac{H_{\text{平}}}{R} + \frac{y_0^2}{2R^2}}$$

$$\approx \frac{1}{1 + (1569H_{\text{平}} - 1232y_0^2) \times 10^{-7}}$$

式中  $R$  为参考椭球体的平均曲率半径，取  $6371\text{km}$ ； $H_{\text{平}}$  为采场投影水准面相对矿区控制网投影水准面的高程， $\text{km}$ ； $y_0$  为采场坐标系统原点在矿区坐标系统中的横坐标， $100\text{km}$ 。

(李正中)

### lutianguang celiang

**露天矿测量** (surface mine survey) 为满足露天采矿工程中各工程及各工程之间的相互空间位置关系所进行的测量工作，包括控制测量、采场验收测量、生产测量、工程测量、矿图绘制与资料管理。

建矿时期，根据露天采场范围及已有的国家控制点，建立露天矿控制网(点)，作为测设露天矿各项工程的基础点；根据采矿设计图纸及生产设计安排，将工业场地、采场、排土场、运输线、管道线路、电力线路、通讯线路、防排水沟道及地面其他工程，逐次测设于实地。

生产期间，主要测量工作包括采场验收测量、运输线路测量、排土场测量、边坡滑(移)动监测、储量管理。

(1) 采场验收测量。任务是按月测出采剥工程台阶、主要作业机械、运输线路、地质勘探钻孔和井巷、地质素描点等采场内各工程体的位置，并绘制成图；计算采剥量；在采剥工程平(断)面图上量取采剥工程技术指标。(见露天采场验收测量)

(2) 运输线路测量。测设露天矿铁路和公路线路，以及皮带运输线路。(见露天矿运输线路测量)

(3) 排土场测量。测绘排土场境界内的地形图，掌握排土进度，为规划排土生产提供技术资料。

(4) 边坡滑(移)动监测。选择采场边坡滑(移)动有代表性的地块建立边坡观测线，每条观测线由若干控制点和观测点组成；定期测量各观测点的高程和平面位置；计算出各观测点的水平和竖直变形值，为研究边坡滑(移)动规律和准确预报边坡滑(移)动情况提供可靠资料。(见露天采场边坡移动测量)

(5) 储量管理。根据采剥工程平(断)面图和地质资料，划分并计算开拓煤量和回采煤量，为合理安排采

剥生产，协调采剥接续关系提供技术资料；计算采出率，监督煤炭资源的合理开发。(见露天矿二量)

露天矿测量是在动态环境中进行的。因受采动影响，已建的控制点可能发生移动。由于生产的发展需要建立新的控制点，所以要进行露天矿控制网(点)的补测工作。另外，根据露天矿生产的特殊需要，还要进行其他测量工作。当露天矿萎缩直至报废时，要协调和参与造地复田等工作。

在过去较长的时间里，中国露天矿测量及绘图工作从外业到内业都采用手工作业。近10年来，由于电子速测仪和电子计算机的应用，采场测量信息的自动采集，测量信息的自动加工处理与存储，测量成果的入库及输出以及通过打印机和绘图机输出各种文字、报表及部分矿图等，已在大型露天矿使用。美国等一些国家采场验收测量多采用航空摄影测量的方法(航摄法)；东欧一些国家则多采用地面摄影测量方法(陆摄法)。

(李正中)

### lutianguang celiangtu

**露天矿测量图** (open-pit mining map) 在露天矿新建、恢复、扩建和生产的各个阶段需要的各种测量图纸(简称矿图)，是企业管理和生产指挥的基础资料。露天矿通常应具备的主要矿图的种类、比例尺如下表所示。除表中所列的图纸外，根据生产的需要还可绘制供各种用途的专用矿图。

主要矿图应绘在聚酯薄膜上或是经过裱褙的优质图纸上。除地形原图外，矿图的图幅和格网线方向可根据露天矿的具体情况确定，应符合下列要求：便于长期保存，便于绘制和使用，在同一露天矿中，矿图图幅应尽量一致。

露天矿必备的主要矿图表

| 图 名        | 比 例 尺             |
|------------|-------------------|
| 矿田区域地形图    | 1:1 000 或 1:2 000 |
| 工业场地平面图    | 1:500 或 1:1 000   |
| 分阶段采剥工程平面图 | 1:500 或 1:1 000   |
| 采剥工程断面图    | 1:500 或 1:1 000   |
| 采剥工程综合平面图  | 1:1 000 或 1:2 000 |
| 排土场平面图     | 1:1 000 或 1:2 000 |
| 防排水系统图     | 1:1 000 或 1:2 000 |
| 排水井巷平面图    | 1:1 000 或 1:2 000 |

分阶段采剥工程平面图 根据实测资料直接绘制的原图，主要用来计算每个月的采、剥量，也是绘制其他矿图的基础。露天矿可以根据本矿的开采范围、深



度、形状等具体情况自行规定图幅。图幅的格网线应和本矿的独立坐标系统的纵横坐标轴一致。图幅的编号是开采水平和图号。在图上应绘出的主要内容为：控制点的位置和编号；每月段肩和段脚的采剥边界，并注明实测点的高程；采掘机械的位置和编号，并注明验收测量日期。

**采剥工程断面图** 根据分阶段采剥工程平面图和地质断面图转绘而成，主要用以计算采剥量、生产储量和检查平盘技术规格。断面图的图幅可依据露天矿的大小和开采深度自行规定。图幅编号由图幅所在断面线号、图位号、图幅高度号三项内容组成。在图上应绘出的主要内容为：地表线及每月末的采、剥边界，并注明月份和采掘机械的编号；煤层和其他矿层的顶底板、表土层及地质破坏等地质资料；各种勘探井巷、钻孔及其柱状图；煤柱和露天矿的最终境界。

**采剥工程综合平面图** 将全矿某一时期所有的采剥台阶和工作面的位置综合于一张图纸上，全面地反映出全露天矿的生产情况和地质因素，是露天矿制定计划和生产管理中经常使用的一种图纸。在图上应绘出的主要内容有：各阶段的坡顶线和坡底线，并注明实测点的高程；采剥机械的位置和编号，并注明验收测量日期；煤柱的边界；运输线路、建筑物、储水池及崩岩区；火区、水淹区的位置及其状况；控制点的位置及编号，并注明其高程；露天矿的最终境界；露天矿坑周围的地物和地貌。

(连荫海)

## lutianguang erliang

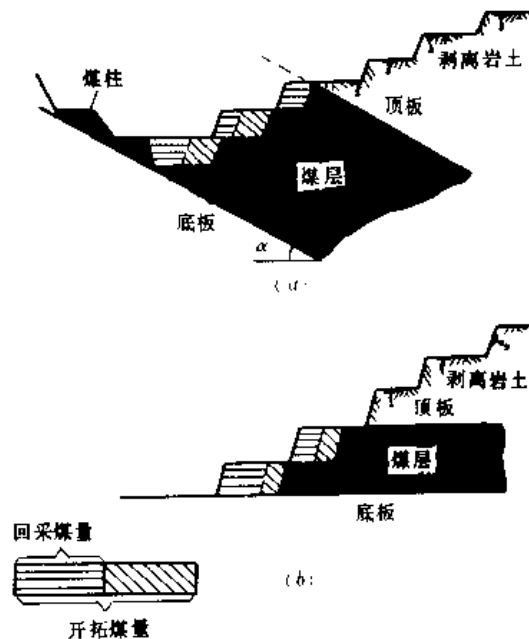
### 露天矿二量 (Two Class Reserves of surface mine)

指开拓煤量和回采煤量。开拓煤量系指已完成了运输通道，在开采时不需要进行剥离工作的煤量。回采煤量系指在开拓煤量中减去规定的平盘通路宽度范围内的煤量所剩余的煤量。开拓煤量可采期和回采煤量可采期是衡量露天矿剥、采关系是否协调，生产接替是否正常的重要指标。二量可采期大于可采期下限标准时，生产接替处于正常状态，否则可能出现接替紧张，甚至会发生失调的现象。

开拓煤量的计算边界为：①上面边界是剥离露出的煤面，在煤面上允许残留厚度不足 1m 的岩石，但必须留出平盘通路宽度；②顶板侧的各段计算边界一般根据计划或设计段高、经验坡面角和平盘通路宽度决定；③底板侧的各段计算边界，一般以煤层底板为界，但为了维护底板边坡的稳定而留设有煤柱时，则应以煤柱为界；④下部边界是以允许拉开段沟的水平为界。每一平盘上的开拓煤量用下式计算：开拓煤量 = (开

拓(露天)煤面长度 × 平均横断面积 × 煤的密度 - 开拓煤量可采期内不能开采的煤量) × 采出率。

回采煤量是开拓煤量的一部分，其边界划分情况如图所示。回采煤量的计算公式为：回采煤量 = (回采煤面长度 × 平均横断面积 × 煤的密度 - 回采煤量可采期内不能开采的煤量) × 采出率。



二量边界划分

露天矿全坑或某一采区实际采出的煤量和整个储量之比称为采出率。开采单一煤层，采出率不小于 90%；开采煤层群或旧巷区，采出率不小于 85%。计算公式为：

$$\text{采出率} = \frac{\text{露天全坑(或采区)采出的煤量}}{\text{露天全坑(或采区)储量}}$$

开拓煤量和回采煤量可采期的计算公式为：

(1) 生产露天矿

$$\text{开拓煤量可采期(月)} = \frac{\text{期末开拓煤量}}{\text{当年平均月计划产量}}$$

$$\text{回采煤量可采期(月)} = \frac{\text{期末回采煤量}}{\text{当年平均月计划回采产量}}$$

(2) 新建露天矿移交生产

$$\text{开拓煤量可采期(月)} = \frac{\text{移交当时的开拓煤量}}{\text{平均月设计生产能力}}$$

$$\text{回采煤量可采期(月)} = \frac{\text{移交当时的回采煤量}}{\text{平均月计划回采产量}}$$

可采期的下限值应根据各露天矿的剥、采情况确定。

(连荫海)

## lütiankuang gaocheng kongzhi celiang

### 露天矿高程控制测量 (open-pit height control survey)

建立露天矿各级高程控制点的测量,分为基本高程控制测量和工作高程控制测量。基本高程控制测量是露天矿最高级的高程控制;工作高程控制测量是在基本高程控制基础上的加密,用于露天矿测图和测设各采矿工程及基建工程在竖直方向上的位置。

**露天矿基本高程控制测量** 大中型露天矿可用地面三、四等水准网(点)作为基本高程控制点。露天矿基本平面控制点一般兼作基本高程控制点。

**露天矿工作高程控制测量** 分为Ⅰ、Ⅱ两级。Ⅰ级工作高程控制点应在基本高程控制点基础上加密;Ⅱ级工作高程控制点应在基本高程控制点或在Ⅰ级工作高程控制点基础上加密。若Ⅰ、Ⅱ级高程点尚不能满足露天采矿及基建工程时,可增测独立水准点。施测方法有水准测量、经纬仪三角高程及光电测距三角高程(见三角高程测量)。露天矿Ⅰ、Ⅱ级水准测量,可敷设成附合路线、结点路线、环线或支线。露天矿三角高程测量,通常是在用后方交会法建立平面工作控制点时,至少观测两个方向的倾角,边长由坐标反算,从而求出工作控制点的高程。露天采场内地形复杂(高差大)时,宜采用光电测距三角高程的方法来建立工作高程控制点。通常是在用测距仪极坐标法建立平面工作控制点时,同时完成。

(李正中)

## lütiankuang pingmian kongzhi celiang

### 露天矿平面控制测量 (open-pit horizontal control survey)

建立露天矿各级平面控制网(点)的测量工作,分为基本平面控制测量和工作平面控制测量。基本平面控制是露天矿一切平面测量的基础;工作平面控制是在基本平面控制基础上的加密,用于露天矿测图及测设采矿工程和基建工程的平面位置。

#### 露天矿基本平面控制测量

**基本平面控制的布设** 露天矿与相邻厂矿、露天矿内部各项工程以及同一工程的不同区段之间,都有平面位置关系,因此需要在某一坐标系下建立各级平面控制点,并用这些控制点来测设各工程体。露天矿基本平面控制测量便是建立这些控制点的基础。

对大、中型露天矿,地面三等和四等三角网、边角网、测边网或导线网、矿山一级小三角网、一级小测边网或一级导线网均可作为露天矿的基本控制。小型露

天矿的基本控制,可采用矿山二级小三角网、二级小测边网或二级导线网。

在深凹型露天采场,布设基本平面控制网(点)必须满足下列要求:尽量使控制点均匀地分布在采场地表境界线外的边帮(地面)上,尽量使每个控制点都能控制较大的采场范围;要考虑采剥工程的发展和边帮滑(移)动的影响,将控制点选在今后较长时间不受破坏的地段。对于山坡型露天矿采场,应充分利用其周边的地形条件,在通视条件好的山顶上设点,尽量使控制点均匀地分布在采场四周。

基本平面控制点应尽量测定高程,一般情况下,露天矿基本平面控制点同时又是基本高程控制点。基本平面控制点要统一编号,并绘制小比例尺分布图,图上应绘出采场位置。

**基本平面控制点的布设方法** 以往中国露天矿多采用三角网法布设基本平面控制网(点)。由于光电测距仪的广泛应用,采用光电测距导线布设基本平面控制网(点)的矿山逐年增多。

(1)三角网法。中国大部分矿区已布设了三、四等三角网和水准网作为全矿区控制测量的基础。这些控制点一般满足不了露天矿测量工作的需要,因此还要进一步布设露天矿基本平面控制网(点)作为露天矿测量的基础。如图1所示,双线为矿区四等三角网,单线为在四等网基础上加密的矿山一级小三角网。这些分布在采场四周的一级小三角点即是基本平面控制点。可同时施测水准测量或三角高程,以建立基本高程控制点。

(2)光电测距导线法。一般是在靠近采场地表境界线附近布设一条单一附(附)合导线(图2)。图中南

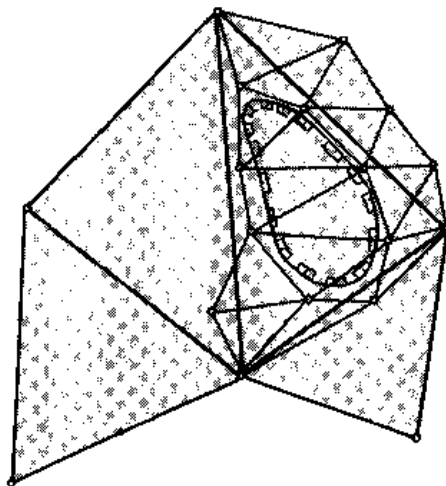


图1 三角网法

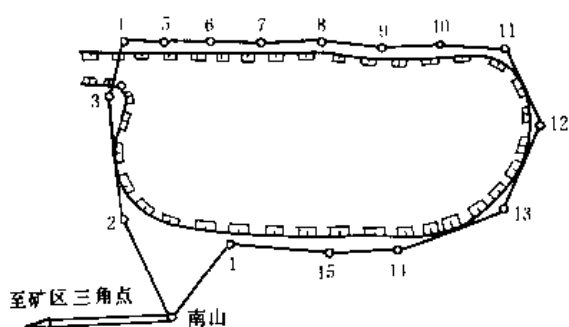


图2 光电测距导线法

山点为矿区已知的二等三角点。若在施测光电测距导线的同时,观测了相应的倾角,则该导线也为测距三角高程导线。

#### 露天矿工作平面控制测量

工作平面控制的布设 为满足露天矿采剥生产和工程施工的要求,必须在基本控制基础上,在采场、排土场建立工作平面控制点。露天矿工作平面控制分为两级:Ⅰ级工作控制是在基本平面控制的基础上加密,测角中误差为 $\pm 10''$ ;Ⅱ级工作控制是在Ⅰ级工作控制或基本控制的基础上加密,测角中误差为 $\pm 20''$ 。

为满足露天采场内验收测量及其他测量工作的需要,工作控制点要有一定的密度和精度。点的密度依图的比例尺而异,当测图比例尺为1:1000时,工作控制点间的距离不应大于200m;当测图比例尺为1:500时,测点间的距离不应大于150m。工作控制点的精度,以成图精度为依据,要求工作控制点相对于基本控制点的点位误差不大于图上0.2mm。

在采场、排土场以外,需要长期保存的工作控制点,应埋设永久点,并建立觇标;采场内的工作控制点,可埋设临时点,用木桩或铁棒临时固定在采剥平盘上,也可用红色铅油在暂时不被采动的岩石上标出其位置。

工作控制点的布设方法 工作控制点的布设方法要简便,点的密度和精度要满足测图和工程要求。具体布设方法要根据采场的地形条件、煤层轮廓、开采深度及方向,以及所采用的碎部测量方法来确定。露天矿在开采初期使用一种方法,在采矿向深部发展后可以使用另一种方法,也可以同时配合使用几种方法。露天矿Ⅰ级工作控制点可采用极坐标法、光电测距(或经纬仪)导线法、小三角法和测边交会法建立;露天矿Ⅱ级工作控制点除用上述方法布设外,还可用测角交会法(主要是后方交会)、断面线法和方格网法测定。

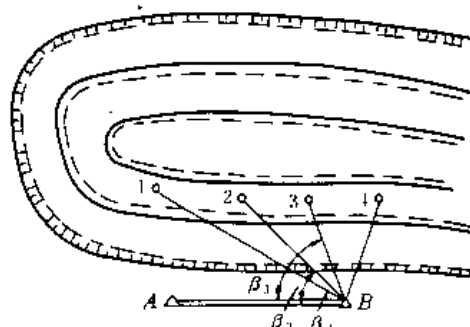


图3 极坐标法

(1)极坐标法。用光电测距仪测边的极坐标法布设工作控制点,具有布点灵活、施测方便、计算简单、精度可靠的优点。图3中A、B为基本控制点,1、2、3……等点为欲布设的工作控制点。在B点安置测距仪,后视A点,依次瞄准1、2、3、……等点的反射镜,测出斜距 $S_1$ 、 $S_2$ 、 $S_3$ ……,倾角 $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$ ……,水平角 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$ ……。工作控制点的坐标计算:

$$x_i = x_B + S_i \cos \delta_i \cos \alpha_i$$

$$y_i = y_B + S_i \cos \delta_i \sin \alpha_i$$

纵、横坐标误差为:

$$m_{x_i} = \pm \sqrt{(\cos \delta_i \cos \alpha_i)^2 m_s^2 - R_i^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}$$

$$m_{y_i} = \pm \sqrt{(\cos \delta_i \sin \alpha_i)^2 m_s^2 - R_i^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}$$

点位误差:

$$M_i = \pm \sqrt{\cos^2 \delta_i m_s^2 - R_i^2 \frac{m_\beta^2}{\rho^2}}$$

式中 $m_s$ 为测距仪的测距中误差; $m_\beta$ 为测水平角中误差; $R_i$ ( $R_{x_i}$ )为测站点B至第*i*点连线在*y*轴(*x*轴)上的投影长; $R_i$ 为测站点B至第*i*点的连线长度。

(2)后方交会法。采场地形复杂,开采深度又较深时,宜采用此法。后方交会和采场验收测量宜同时进行,即测完后方交会后,随即进行验收测量。这样做,不需要在现场保存工作控制点,节约时间,因而得到广泛应用。如图4进行后方交会时,需要照准三个基本控制点,观测水平角 $\alpha$ 、 $\beta$ ,就可以求出待定点P的平面坐标。同时又观测 $\epsilon$ 角,进行检核。后方交会会有两种检核方法。一种是角度检核,即:

$$\Delta \epsilon = \epsilon_{\text{计}} - \epsilon_{\text{测}} = \frac{\rho'' M}{5000 S_{\text{边}}}$$

式中 $M$ 为测图比例尺分母; $S$ 边为检核角短边之边长。另一种检核方法是坐标检核,即用算出的交会点的两组坐标值之差进行检核。在选择工作控制点位置时,



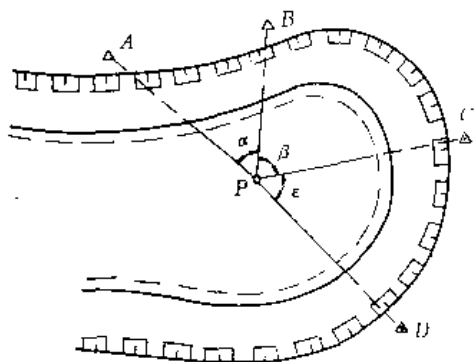


图4 后方交会法

注意不要将点选在过三个基本控制点的外接圆上或接近外接圆。施测时，至少要观测两个方向的倾角，以确定交会点的高程。

(3) 测边交会法。当采场太深，视线倾角太大时，采用测边交会法在精度上比较可靠。一般是采用测边后方交会，即将测距仪安置在采场内交会点上，观测立于三个基本控制点上的反射镜，测得三条边长，解算出交会点坐标。

(4) 断面线法。当采场工作线较长，开采深度又较深时，宜采用断面线法布设工作控制点。其优点是在采场内很容易根据断面线上工作控制点的坐标掌握其具体位置。各断面线应大致垂直于矿床走向，并相互平行、间距相等。图5中，断面线间距为200m，主断面线WE0与矿床走向垂直，与采场坐标系x轴重合。往东各断面线上点的横坐标分别为E200、E400、

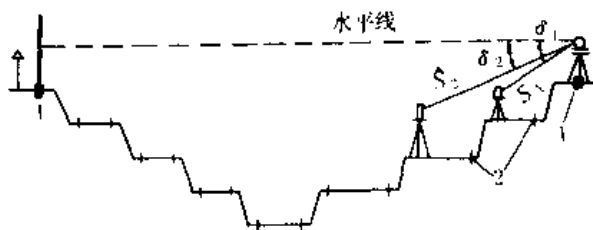


图6 用测距仪标定工作点  
1—基点；2—工作点

……；往西各断面线上点的横坐标分别为W200、W400、……。断面线基点应是基本控制点或I级工作控制点，并设置在采场两帮的稳定地带，利用周围的基本控制点用极坐标法测设。断面线上的工作控制点测设，其方法为：①利用断面线基点测设，如图6在一端基点上安置测距仪，照准另一端基点上的觇标，然后依次照准立在各平盘上的反射镜，测出斜距 $S_i$ 、倾角 $\delta_i$ ，利用基点的已知坐标，便可求出工作点的平面坐标。②用导线法测设。由基点开始，布设直伸形导线测至最下部的工作点，再连测相邻断面线的最下部的工作点返测上去，形成闭合导线或导线网。③断面线交会法。如图5在E3000断面线的5号工作点上安置经纬仪，测出水平角 $\beta_1$ 和 $\beta_2$ ，由于V至5和Ⅵ至5的横坐标增量 $\Delta y$ 为已知，所以能求出其纵坐标增量 $\Delta x$ ，进而求出5号点的平面坐标。

(5) 方格网法。在采场范围内布设成纵、横相交的方格网，各个交点即为工作控制点。此种方法适用于煤

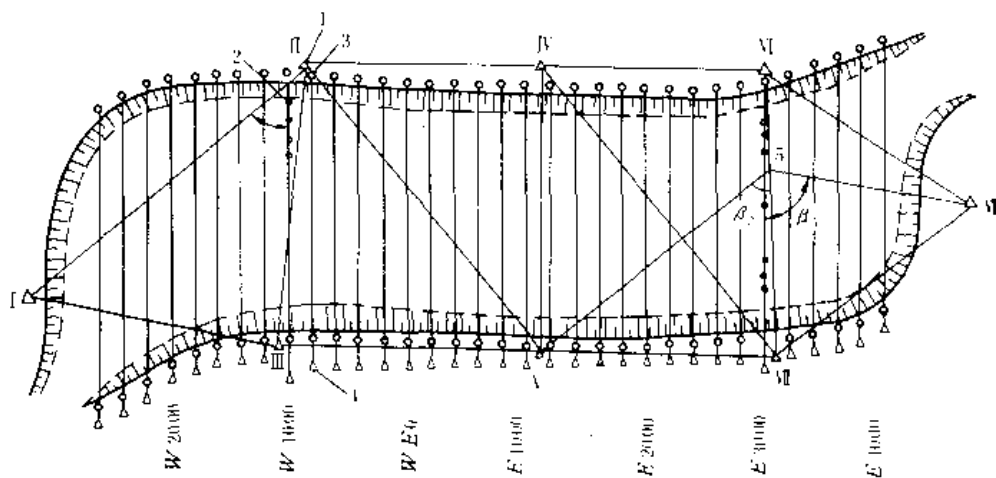


图5 断面线法

1—基本控制点；2—断面线上的工作控制点；3—断面线的基点；  
4—断面线方向标；5—E3000上5号工作点



层倾角较小的浅露天采场。方格网的边线方向应和开采工作的方向平行或垂直；如果采场采用独立坐标系，则方格网边线的方向应与该系统的轴线一致。方格网的边长，可根据碎部测量方法、测图比例尺以及台阶的推进度等因素综合考虑来决定，通常为40~200m。

(6) 小三角网(锁)法。采场、排土场呈伸长形时，宜采用小三角网或线形锁来建立露天矿I、II级工作控制网。小三角锁应有设在两端带的已知边之间；线形锁布设在两已知点之间。

(7) 经纬仪导线法。当采场、排土场的走向较长且平盘较宽时，宜采用此法布设工作控制网(点)。先用极坐标法或交会法在两端带的各个阶段平盘上，建立I级工作控制点，再分别在各阶段工作平盘上施测II级直伸形附和导线(附和到同平盘的I级工作点上)。有条件的露天矿，尽可能采用光电测距导线。

(李正中)

## lutiankuang yunshu xianlu celiang

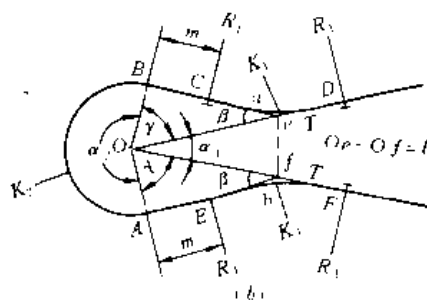
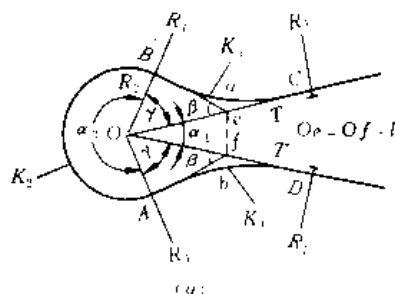
### 露天矿运输线路测量 (surface mine transportation route survey)

露天矿铁路和公路施工测量工作，铁路运输线路测量见矿区铁路施工测量。露天矿公路按用途不同可分为干线、支线、联络线和辅助线；也可按是否移动分为固定线路和临时线路。固定线路指地面、出入沟和坑内固定线路，临时线路指采掘和排土工作面线路。露天矿固定线路可依据行车密度、行车速度、使用期限、选用车型和地质地形条件分为不同等级。

露天矿道路设计和施工大体可分为：编制计划任务书、踏勘测量和编制初步设计、详细测量和编制施工图、施工等四个阶段。露天矿由于范围较小又有大比例尺地形图，多采用图上直接定线，通过比选而最后确定道路位置。露天矿公路测量包括定线、曲线测设、纵横断面测量和施工测量。

**定线** 在现场标定出道路的中线。标定时，可依据露天矿的控制网和道路转点的坐标，直接将转点间的位置标设出来，并进行以下的测量工作：测量转向角值、丈量转点间的距离、设置百米桩和各种加桩、纵横断面测量。(见矿区铁路施工测量)

**曲线测设** 露天矿公路由直线和曲线组成。曲线的半径可根据地形条件选取，有圆曲线、缓和曲线和回头曲线。圆曲线和缓和曲线的测设方法见矿区铁路施工测量。回头曲线使用较多的是对称形回头曲线。按在主曲线和辅助曲线间有无插入段，分为有直线插入段和无直线插入段两种(见图)。主要组成部分为：主曲线AB；辅助曲线AB、BC(图a)和CD、EF(图b)；路



回头曲线

线转角  $\alpha_1$ ；辅助曲线半径  $R_1$ ；主曲线半径  $R_2$ ；插入直线段  $m$ 。

测设不设插入直线段的对称回头曲线(图a)时，首先计算出总偏角  $\beta$

$$\cos \beta = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

然后计算出辅助曲线要素：切线长  $T$ 、曲线长  $K_1$  和外欠距  $E$ 。由  $\triangle OAf$  可以算出  $\gamma = 90^\circ - \beta$ ，由回头曲线中心点  $O$  至辅助曲线起点的距离

$$OD = Of + fD$$

$$Of = \frac{T}{\cos \beta} = \frac{R_2}{\sin \beta}$$

$$fD = \frac{E}{2}$$

主曲线总偏角

$$\alpha_2 = 360^\circ - 2\gamma - \alpha_1$$

主曲线长度

$$K_2 = \frac{\pi R_2 \alpha_2}{180^\circ}$$

回头曲线全长  $S = 2K_1 + K_2$ 。测设时，将经纬仪安于转向点  $O$  上给出线路中心方向，由  $O$  量取距离  $OD$  得  $D$ 、 $C$  两点，由  $D$ 、 $C$  点量切线长  $T$  得回头曲线起点  $f$ 、 $e$ ；拨  $\gamma$  角，并沿视线方向量  $R_2$  距离得主曲线起点  $A$  和  $B$ 。辅助曲线的测设方法见矿区铁路施工测量。

在测设主曲线和辅助曲线之间插入直线段的对称回头曲线(图b)时，也是先计算出辅助曲线的总偏角

$\beta$ ;

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{-m + \sqrt{m^2 + R_2(2R_1 + R_2)}}{2R_1 + R_2}$$

计算其他要素及测设方法和不插入直线段的对称回头曲线相同。

**纵横断面测量** 公路的纵断面是由上坡段、下坡段和平道组成。露天矿公路的最大允许纵坡度,依据道路的等级不同而有不同的规定,当相邻两坡度的代数

差超过一定数值时,即应设置竖曲线。沿线路测出各个转点、里程桩和加桩的高程,再依据定线测量时的成果,即可绘出道路纵断面图。为了道路路基的设计和计算土方量,在里程桩和加桩上测出垂直于路线方向上的地面起伏情况并绘制道路横断面图。

**施工测量** 包括道路路基的标定、竖曲线的放样和竣工后的测量工作。

(连荫海)

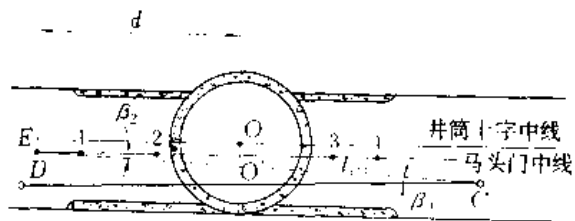
## M

matoumen shigong celiang

**马头门施工测量** (ingate construction survey)

立井井筒与井底车场巷道的连接部,即马头门施工时标测中线和高程的工作。施工测量方法与施工方式有关。全断面分层施工和中央导洞施工时标定马头门中线;两侧导洞施工时标定马头门两侧导洞的中线或边线。马头门开切高程、腰线和拱基线的标定与分层掘进顺序有关。施工测量的基础是井筒十字中线(见立井十字中线标定)和地面水准基点。

马头门中线标定是依据井筒十字中线,在井盖上或掘进盘上标出马头门中线点,然后悬挂垂线给出马头门开切方向。当马头门向两侧各掘进一段距离后,再精确标定其中线(见图)。标定时,首先采用一井定向方法(见几何定向)在马头门巷道中测定两个方向基点 $C$ 、 $D$ ;在设计图的马头门中线上选择一点 $E$ ,并确定其坐标;利用 $E$ 点和 $C$ 、 $D$ 点的坐标,求出标定数据。然后,用极坐标法(见建井测量)由 $C$ 点标定 $E$ 点,再由 $E$ 点标定马头门中线点1、2和3、4。



马头门中线标定

两侧导洞中线可根据与马头门中线的关系,将导洞中线点标定在井盖上或掘进吊盘上。当导洞掘进一段距离后,将其中线点转设在顶板上,悬挂垂线指示导洞掘进方向。

马头门高程位置是依据埋设于马头门上部井壁上的高程控制点测定。按设计高程标出马头门腰线起点,再根据设计坡度标定出腰线。以腰线为基准,按马头门

设计的墙高和下降率标定拱基线。

(田佩俊)

meikuang celiang guicheng

**《煤矿测量规程》** (coal mine survey rule)

煤矿建设、生产各阶段的测量工作必须遵照执行的技术法规,是测量工作的标准和依据。现行的《煤矿测量规程》(以下简称《规程》),于1989年1月由中华人民共和国能源部以能源煤总(1989)25号文正式颁发。

中国从20世纪50年代开始制定煤矿测量规程,当时名为《生产矿井测量规程》,后几经修改,不断完善。现行的《规程》是在1975年颁发的《煤矿测量试行规程》的基础上修改、补充制定的。《规程》包括总则、矿区地面控制测量、矿井测量、施工测量、测绘资料、地表与岩层移动及“三下”采煤观测等7篇共26章45节307条。

**总则** 明确了煤矿测量工作的任务(见矿山测量学);对测量工作的校核、复测复算、内业检查等提出基本要求;规定了坐标系统的选用原则和评定测量精度的标准。

**矿区地面控制测量** 包括平面控制测量和高程控制测量2章,共分8节。规定了矿区控制网布设原则、精度要求以及水平角观测、光电测距、水准测量、内业计算等必须遵守的原则和技术要求。

**矿井测量** 包括联系测量、井下平面控制测量、井下高程控制测量和采区测量4章,共15节。对矿井近井点和高程基点的设置、测量,联系测量中的投点、定向,井下各级经纬仪导线测量、水准测量和采区碎部测量的方法、精度、技术要求等,都作了规定。增加了陀螺定向的内容。

**露天矿测量** 包括露天矿的平面控制测量、高程控制测量、采场验收测量、排土场测量、开掘沟道、技术境界及爆破工程测量等5章,共17节。规定了露天矿控制测量的种类、级别、测量方法和精度及沟道标定

的准备工作等。

**施工测量** 包括基本要求、井口标定和地面建(构)筑物施工测量、井巷施工和提升设备安装测量、贯通测量和露天矿铁路、绞车道及栈桥施工测量等5章,共8节。对煤矿建设时期及生产矿井的建设工程的测量工作内容、程序和测量精度作了规定。对立井特殊法施工测量的内容、方法、标准等,也作了具体规定。

**测绘资料** 包括基本要求、煤矿基本矿图、测量原始资料与成果计算资料、新建矿井(露天矿)测绘资料的移交等4章。对煤矿必备的基本矿图种类、绘制内容、绘制精度,煤矿图纸、资料的管理和移交等作了规定。

**地表与岩层移动及“三下”采煤观测** 包括基本要求、地表移动观测、建筑物下采煤观测、铁路下采煤观测、水体下采煤观测及露天矿边坡移(滑)动观测等6章。对不同观测对象的观测站设置要求、观测内容、观测精度及资料的整理和分析等,作了规定。

(马启勳)

meikuang celiang jishu fagui

**煤矿测量技术法规** (technology laws of coal mine survey) 规范测量工作标准的带有法律性的技术文件。

中国煤矿测量技术法规是随着煤矿开采业的发展而逐步建立和发展的。早在1908年,清政府颁布实行的《大清矿务章程》中就有制定矿图程式的规定。1949年后,中华人民共和国燃料工业部和煤炭工业部先后于1955年和1956年制定颁发了《煤矿建井测量试行规程》、《生产矿井测量规程》和《矿山测量图图例》。1958年煤炭工业部颁发了《地面移动观测规程》、《露天矿测量规程》,1961年又颁发了《关于矿井和露天矿开拓煤量、准备煤量和回采煤量划分范围、计算方法和矿井巷道划分范围的规定》。至此,测量技术规定已形成了较完整的体系。

1975年,将《煤矿建井测量试行规程》、《地面移动观测规程》、《露天矿测量规程》和《生产矿井测量试行规程》合并成《煤矿测量试行规程》,并于1975年12月9日正式颁发执行。1989年又进行了局部修改,增加了“矿区地面控制测量”篇,对矿区地面控制网(点)的布设原则、等级精度等作了规定。

矿图图例是煤矿测量技术法规的组成部分。1977年和1987年,煤炭工业部先后对1955年颁发的《矿山测量图图例》进行了两次修改,增加了煤田地质、矿井地质和水文地质图件的内容,并于1989年7月由能源部以《煤矿地质测量图例》正式颁发执行。1991年,中

国统配煤矿总公司制定了《煤矿地质测量图技术管理规定》,与《煤矿地质测量图例实施补充规定》配合执行。

前苏联于1922年先后公布了三个矿山测量规程。而后,对建井、生产、露天矿和地表岩层移动观测站等几个部分分别编制技术规定,并且每隔若干年修订一次。目前俄罗斯执行的是1987年制定的测量规程。德国1923年公布了矿山测量规范,若干年修订一次,不断补充新的内容,以适应煤矿生产和新技术不断发展的需要。其特点是由国家行业主管部门制定颁发,条文规定的比较原则,然后由各公司根据国家规定制定执行细则。

(马启勳)

meikuang celiangtu

**煤矿测量图** (coal mine surveying map)

表示地面自然要素和社会经济现象,反映地质条件和井下采掘工程活动情况的煤矿生产建设图的总称。有平面投影图、竖直面投影图和断面图。根据成图方法分为原图和复制图两类。原图由实测资料直接绘制成图。原图的副本称二底图。复制图是根据原图或二底图复制或编制而成的。按用途和性质可分基本矿图、专门矿山测量图、日常生产用图、生产交换图四类。中国《煤矿测量规程》对基本矿图的图种、内容、比例尺及绘制精度与采用的材质都有明确的规定,其他图纸由各局(矿)根据生产建设的实际需要自行规定。煤矿测量图中的地形图部分,按照国家测绘局颁发的有关图式规范绘制,其余则按《煤矿地质测量图例》和《煤矿测量规程》的规定绘制。

煤矿测量图绘制特点是:①随采掘工程进展,图面内容要不断增加、补充、修改;②采用实测和编绘相结合的成图方法,以实测资料为基础,再辅以地质、水文地质、采掘等方面的技术资料;③绘图材质要耐磨、变形小、易于复制。

**煤矿测量图种类**

**基本矿图** 反映煤矿生产建设总体面貌,作为永久技术档案保存,并用以编绘其他生产用图的主要图纸。生产矿井必备的基本矿图共有8种:①井田区域地形图;②工业场地平面图;③井底车场平面图;④采掘工程平面图;⑤主要巷道平面图;⑥井上下对照图;⑦井筒断面图;⑧主要煤柱图。

(1)井田区域地形图。反映井田范围内地面地貌、地物和社会经济现象的图纸,比例尺1:2 000或1:5 000。该图是编绘井上下对照图和采掘工程平面图的基础。图面主要内容有:地形、水系、各类井口、厂矿

及居民区、独立地物、交通网、管线及垣栅、矿界线、塌陷坑、塌陷台阶、塌陷积水区、矸石山、矸石堆等。

(2) 工业场地平面图。反映工业场地内生产系统、生活设施和其他自然要素的大比例尺地形图, 比例尺 1:500 或 1:1000 (参见彩图插页第 59 页)。该图主要用于工业场地规划、改扩建设计, 并作为工业场地煤柱设计的依据。主要内容有: 测量控制点和井筒十字中线点; 永久和临时建(构)筑物; 各个井口并注明名称、用途和井口高程; 各类交通设施; 管线和垣栅; 上下水道和消防系统; 各类隐蔽工程和设施, 如扇风机通道、防空洞、电缆沟等; 地形, 若地势平坦不便以等高线表示时, 可适当增加高程注记点的个数; 煤柱围护带边界线等。

(3) 井底车场平面图。反映井底车场巷道与硐室的位置以及运输与排水系统的综合性图纸, 比例尺 1:200 或 1:500。该图主要为进行改扩建设计和指挥生产服务。内容有: 井底车场内的全部巷道、硐室、水闸门、防火门等。除平面图外, 还附有放大比例尺的巷道与硐室的横断面图。

(4) 采掘工程平面图。反映开采煤层或开采分层内采掘工程活动和地质特征的综合性图纸, 其比例尺为 1:1000 或 1:2000 (参见彩图插页第 61 页)。该图是基本矿图中最主要的图种, 在生产管理中, 用于安排生产计划、掌握采掘工程进度、了解采掘活动对临近煤层和地面建(构)筑物的影响程度, 并作为编绘其他生产用图的基础。主要内容有: 本煤层以及与开采本煤层有关的巷道、回采工作面、采空区; 丢煤、发火、积水、煤及瓦斯突出、冒流砂等区域; 井田技术边界线、煤柱边界线、采区技术边界线; 表示主要地质与勘探特征的资料: 钻孔与勘探线、煤层露头与底板等高线、断层与褶曲、煤厚及顶底板岩性等; 地面重要的建(构)筑物、居民区、铁路、主要公路、河流与湖泊等。对于缓斜和中斜煤层中的薄及中厚煤层, 应按自然分层绘制; 厚煤层按人工分层或数个人工分层综合绘制。对于急斜煤层, 除绘制平面图外, 应在平面图下(上)方, 加绘反映采掘工程活动的竖直面投影图, 竖直投影面的方向应与煤层平均走向一致。

(5) 主要巷道平面图。反映某一开采水平内主要巷道和地质特征的综合性图纸, 比例尺 1:1000 或 1:2000。该图主要表示某一开采水平内的各有关要素的平面投影, 用以掌握巷道的进度及其所处岩层层位, 为矿井改扩建和巷道设计服务。

(6) 井上下对照图。反映地面地物、地貌和井下主要采掘工程空间关系的综合性图纸, 比例尺 1:2000 或 1:5000 (参见彩图插页第 60 页)。该图主要用来

掌握井下回采对地面所产生的影响, 为井上下各类工程规划设计、迁村征地和“三下”开采提供依据。编绘时以井田区域地形图为基础, 再突出表示出主要采掘工程和回采工作面位置。主要内容有: 井田区域地形图规定的主要内容; 井下主要水平的井底车场、运输大巷、主要石门、上下山、总回风道和采区重要巷道; 已采和正在开采的工作面及其编号; 井田技术边界线、煤柱边界线, 并注明批准文号。

(7) 井筒断面图。反映井筒施工过程和井筒穿过岩层地质特征的综合性图纸, 比例尺 1:200 或 1:500。主要内容有: 井壁结构、壁座位置和厚度; 所穿过岩层的地质特征; 井筒断面尺寸和井口、井底、各水平的高程注记。还有表示井筒内主要装备和重要设备的横断面图和附表, 表中列出井筒中心坐标、井径、井深、井口和各连接水平, 以及井底的高程、井筒提升方位、开工与竣工日期、施工单位等。

(8) 主要煤柱图。为保护井筒、重要建(构)筑物、铁路等免受采动影响所划定的开采边界图 (参见彩图插页第 62 页)。包括平面图、沿煤层走向和倾向的剖面图, 比例尺一般与采掘工程平面图一致。该图是采掘工程平面图和主要巷道平面图划定煤柱边界线的基础, 为矿井改扩建设计、监督煤层不越界开采服务。主要内容有: 平面图上绘出受护对象及其边界线、围护带、主要煤层的底板等高线、主要断层、煤柱各侧面与开采水平(或开采煤层)的交面线; 剖面图上绘出受护对象及边界、围护带、冲积层厚度、各开采水平线、煤层剖面线、主要断层以及煤柱的边界线。图上附表, 列出受护对象的名称与保护级别、煤柱设计所采用的参数及其依据、围护带宽度、围护带各角点的坐标、煤柱内各煤层分级储量统计、煤柱设计批准文号等。

专门矿山测量图 反映局部采掘工程或解决专项矿山测量问题所实测或编绘的图。生产中必备的有: ①测量控制网图; ②井筒十字中线点平面图; ③井筒提升系统关系图; ④立井井壁和罐道竖直程度断面图; ⑤工业场地隐蔽工程实测图。

日常生产用图 随采掘工程进度及时测绘, 直接在生产中使用的大比例尺采掘工程图。主要图种有: ①以采区或工作面分幅的反映采掘工程进度的采掘工程平面图; ②以全井田或井田一翼分幅的反映各水平巷道进度的综合主要巷道平面图。

生产交换图 管理部门掌握生产动态, 定期(季、半年)填绘、上报交换的图纸。一般有下列 7 种: ①井田区域地形地质图, 比例尺 1:5000; ②井上下对照图, 比例尺 1:2000 或 1:5000; ③工业场地平面图, 比例尺 1:500 或 1:1000; ④井底车场平面图, 比例

尺 1:200 或 1:500; ⑤通过井筒的地质剖面图, 比例尺 1:2000; ⑥主要巷道平面图, 比例尺 1:2000; ⑦采掘工程平面图, 比例尺 1:2000。

**煤矿测量图分幅** 煤矿测量图采用正方形分幅法或自由分幅法。

**正方形分幅法** 按平面直角坐标的纵横坐标线为准划分图幅。幅面大小: 1:5000 比例尺为 40cm×40cm; 1:2000、1:1000、1:500 比例尺均为 50cm×50cm。

**自由分幅法** 按任意格网指向和幅面大小划分图幅。确定格网指向和幅面大小的原则: ①便于图纸的绘制、阅读和保存; ②幅面大小依井田和采区大小而定, 井田范围不大时, 可按全井田或井田一翼分幅, 大型矿井采区范围较大时, 可按采区分幅; ③坐标格网线可与上图边垂直, 也可斜交, 斜交的角度力求使图面上煤层的走向大致平行于上下图边, 煤层的倾向指向下图边; ④同一矿井中, 图幅大小尽量一致, 并便于复制。

井田区域地形图的分幅见矿区地形测量。

(陆飞伟)

meikuang kaicai chenxian

### 煤矿开采沉陷 (coal mining subsidence)

煤矿地下采矿引起岩层移动和地表沉陷的现象和过程, 又称“矿山岩层及地表移动”。矿产被采出以后, 采区周围岩体内部原有的力学平衡状态受到了破坏, 使岩层发生了移动、变形和破坏。当开采面积达到一定范围之后, 移动和破坏将波及到地表。位于开采影响范围内的房屋建筑、铁路、河流和井巷等就要产生变形或损坏。开采沉陷学科就是观测、研究这些移动和变形的规律以及防治这些变形和破坏给人们生产或生活带来的有害影响。它的主要研究内容包括: ①由开采引起的岩层和地表移动的观测方法、规律和预计方法; ②对地面及地下建(构)筑物、铁路、水体和井巷等煤柱的留设方法; ③在建筑物下、铁路下、水体下和承压含水层上采煤以及井筒煤柱开采时的保护措施; ④开采沉陷区的土地复垦、环境保护。

**发展史** 随着采矿业的发生和规模的逐渐扩大, 开采沉陷对人类生产和生活的影响以及由它所带来的物质损失也越来越大, 由此引起人们对它的重视和研究。到 19 世纪末 20 世纪初, 仅阐明从岩层直至地表移动的定性描述。后来根据测量的观测结果, 开始研究在地下开采影响下与地表移动的数量关系。1928 年, 德国 H. 凯因霍斯特 (H. Keinhorst) 根据地表下沉观测结果, 以各开采单元的影响叠加原则提出了下沉量的计算方法。1931 年, R. 巴尔斯 (R. Bals) 采用积分计

算方法, 发展了凯因霍斯特的理论。

第二次世界大战以来, 各国对开采沉陷进行了大量的仪器观测, 积累了较丰富的资料。其中前苏联、波兰、中国、英国、德国等在这方面都取得了较显著的成就。前苏联重视现场实测和矿区具体条件的规律研究, 各主要矿区分别制定了有关的保护规程或规定, 给出了适合于各矿区条件的典型曲线和移动参数。1949 年, C. Г. 阿威尔辛 (С. Г. Аверин) 从塑性理论研究岩层移动, 其他学者也对各种特殊地质采矿条件下开采沉陷规律进行了研究。1950 年, 波兰 W. 布德雷克 (W. Budryk)、S. 克诺特 (S. Knothe) 根据实测资料, 提出了高斯曲线作为下沉曲线的影响函数; J. 李特维尼申 (J. Litwiniszyn) 根据随机介质力学模型研究地表移动, 认为煤层单元被采出后引起地表的单元移动符合正态分布规律。1965 年, 英国煤炭局 (National Coal Board, NCB) 根据观测资料出版了《沉陷工程师手册》, 1975 年又增补新的观测资料共计 165 条观测线数据, 修订了手册, 给出预计因采矿影响产生地表下沉、倾斜及变形的公式, 建(构)筑物保护措施和减小沉陷破坏的开采技术措施。

中国自 20 世纪 50 年代开始, 在全国各主要煤田开展了大量的岩层和地表移动观测工作。依据这些实测资料, 在开采沉陷的基本理论研究方面已取得了一批重要成果。典型曲线法、负指数函数法和概率积分法等预计方法, 在生产实践中得到了广泛的应用。移动盆地内任意点沿任意方向预计的研究成果, 使各种预计方法能更正确地取得预计结果。各主要矿区根据实测资料已求得适合于本矿区具体地质采矿条件的移动参数。在此基础上, 中国在建筑物下、铁路下、水体下和承压含水层上采煤、井筒煤柱开采和对开采沉陷区土地复垦、环境保护等方面技术的研究也取得了很重要的成果, 每年可以从压煤中采出 2000 万吨以上的煤炭。

**岩层移动基本规律** 地下煤层被采出以后, 采区

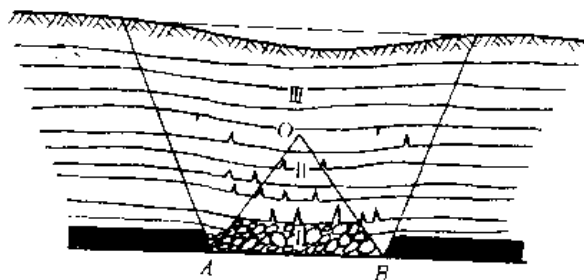


图 1 岩体内部移动分带

I — 垮落带; II — 断裂带; III — 弯曲带

周围岩体内部应力平衡状态受到了破坏。为了达到新的平衡,在采区上覆岩层重力的作用下,岩体内部的移动和变形以垮落、断裂、离层和弯曲沉降为主要方式。从“三下”采煤工程的需要出发,将上覆岩层按变形破坏程度自下而上分为垮落带、断裂带和弯曲带(图1)。

(1)垮落带。由采矿引起的上覆岩层破坏并向采空区垮落的范围。地下煤层被采出以后,采空区顶板岩层垮落后的岩石是以破碎、不规则的状态充填采空区,直到上部不垮落的岩层为止。垮落带高度一般为煤层采出厚度的2~5倍。若用水砂充填法管理顶板时,就不产生垮落带。

(2)断裂带。垮落带上方的岩层产生断裂或裂缝,但仍保持其原有层状的范围。垮落带和断裂带统称为非连续变形带,它们之间常无明显界线,这两带的总高度一般为煤层采出厚度的10~30倍,与上覆岩层性质

有关,岩性坚硬时取大值,岩性软弱时取小值。当地层厚度小于这两带总高度时,地表可能发生严重开裂等非连续的移动和变形。

(3)弯曲带。断裂带上方的岩层产生弯曲下沉的范围。弯曲带为连续变形带,地表只发生连续的移动和变形。

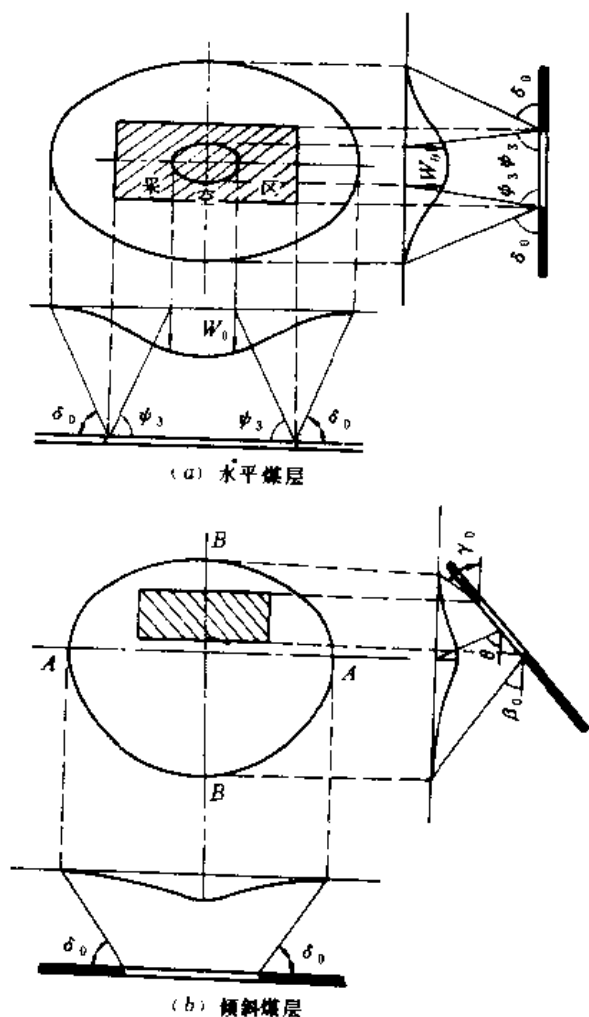


图2 地表移动盆地

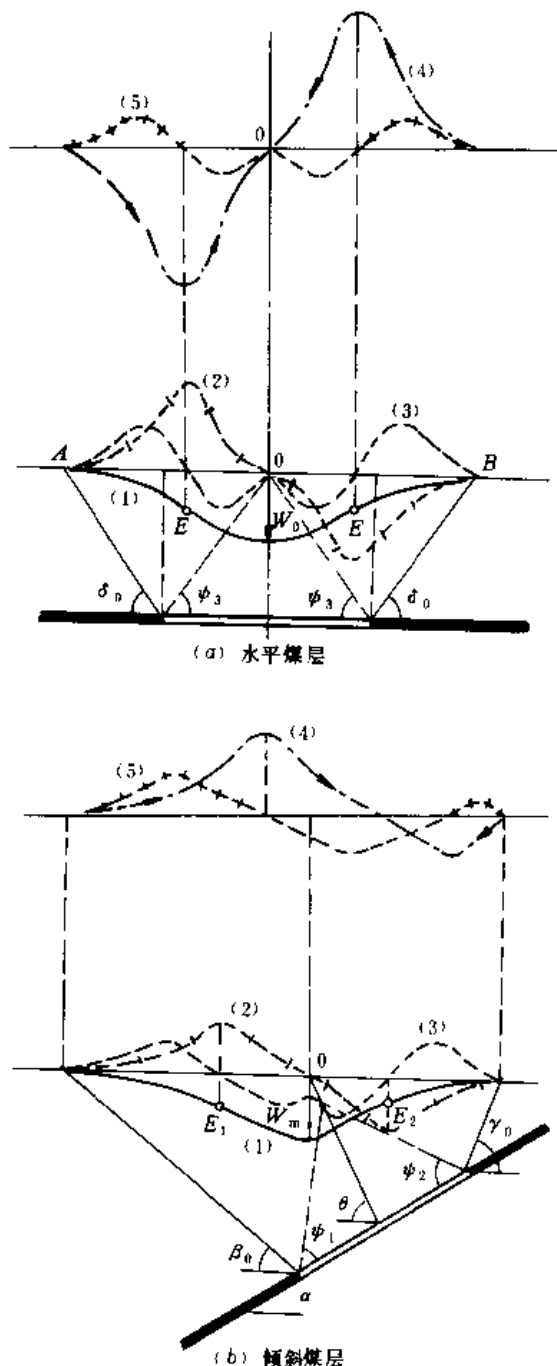


图3 地表移动盆地内移动和变形分布

(1)一下沉;(2)一倾斜;(3)一曲率;  
(4)一水平移动;(5)一水平变形



**地表移动基本规律** 由采矿引起的采空区上方地表移动的范围称为地表移动盆地。形成地表移动盆地需要一定的开采面积,一般当采空区的长和宽(沿煤层倾向的水平投影长度)都超过平均采深的0.2~0.3倍时,地表开始移动。随着采空区面积的不断扩大,移动盆地的面积和最大下沉值也不断增大。此时盆地中央只有一个最大下沉点,这时移动盆地呈尖底状,形同“碗形”,称为非充分采动移动盆地。当采空区的长宽尺寸足够大(一般大于采深的1.4倍)时,移动盆地中的最大下沉值达到该条件下的极限下沉值,不再随采空区面积的扩大而增大。此时盆地中央可有多最大下沉点,这时移动盆地呈平底状,形同“盆形”,称为充分采动移动盆地。

地表移动盆地的形状与煤层及其覆岩的倾角密切相关。采空区为矩形时,在煤层为水平埋藏的条件下,移动盆地大致呈椭圆形并位于采空区的正上方(图2a);在煤层为倾斜埋藏的条件下,移动盆地对采空区呈不对称分布并向下山方向偏移(图2b)。随着煤层倾角的增大,其不对称性和偏移量也越来越大。

由采矿引起的地表点的移动向量取决于该点在空间和时间上与回采工作面相对位置的关系,一般指向采空区中央。为了叙述简便,通常将地表点的移动向量分解为三个分量:垂直分量(简称下沉)、沿某一剖面方向的水平分量(简称纵向水平移动)和垂直于该剖面方向的水平分量(简称横向水平移动)。

在地表移动盆地内各点的移动向量是不相等的,由此产生了变形。垂直变形可分为倾斜和曲率。水平变形可分为拉伸和压缩。在煤层为水平埋藏的条件下,它们的分布基本上呈对称分布,如图3a所示。在煤层为倾斜埋藏的条件下,它们的分布为不对称的,如图3b所示。其中主要表现为最大下沉点不在采空区的正上方,而向下山方向偏移,指向上山方向的倾斜和水平移动增大,随着煤层倾角的增大,这个偏差量也越来越大。

(虞万波)

meizhu liushe

**煤柱留设 (coal pillar design)** 为了保护建(构)筑物、铁路、水体及主要井巷等不受地下开采的有害影响,在这些保护对象下方留设的暂时不采或永久不采的部分煤体,如工业场地煤柱、井筒煤柱、断层煤柱、护巷煤柱等。留设煤柱时,在受护对象的四周外侧增加一定宽度的安全带,此带称为围护带。围护带宽度根据受护对象的保护等级(按重要性、用途分级)而定,一般为5~20m。煤柱留设的方法有垂直剖面法、垂线法和数字标高投影法。

**垂直剖面法** 在平面图上,通过受护对象的角点作平行于煤层走向和倾向方向的四条直线得一矩形。在矩形外侧加上围护带,即为地面的受护面积。然后分别在走向和倾向方向剖面图上,根据冲积层和基岩移动角绘出煤柱在剖面上的边界,并将此投影到平面图上,即得煤柱的边界(图1)。

当用垂直剖面法留设与煤层走向斜交的受护对象的煤柱时,下山方向和上山方向分别用 $\beta'$ 、 $\gamma'$ 角值代替移动角圈定煤柱。 $\beta'$ 和 $\gamma'$ 按下式计算:

$$\operatorname{ctg} \beta' = \sqrt{\operatorname{ctg}^2 \beta \cos^2 \theta + \operatorname{ctg}^2 \delta \sin^2 \theta}$$

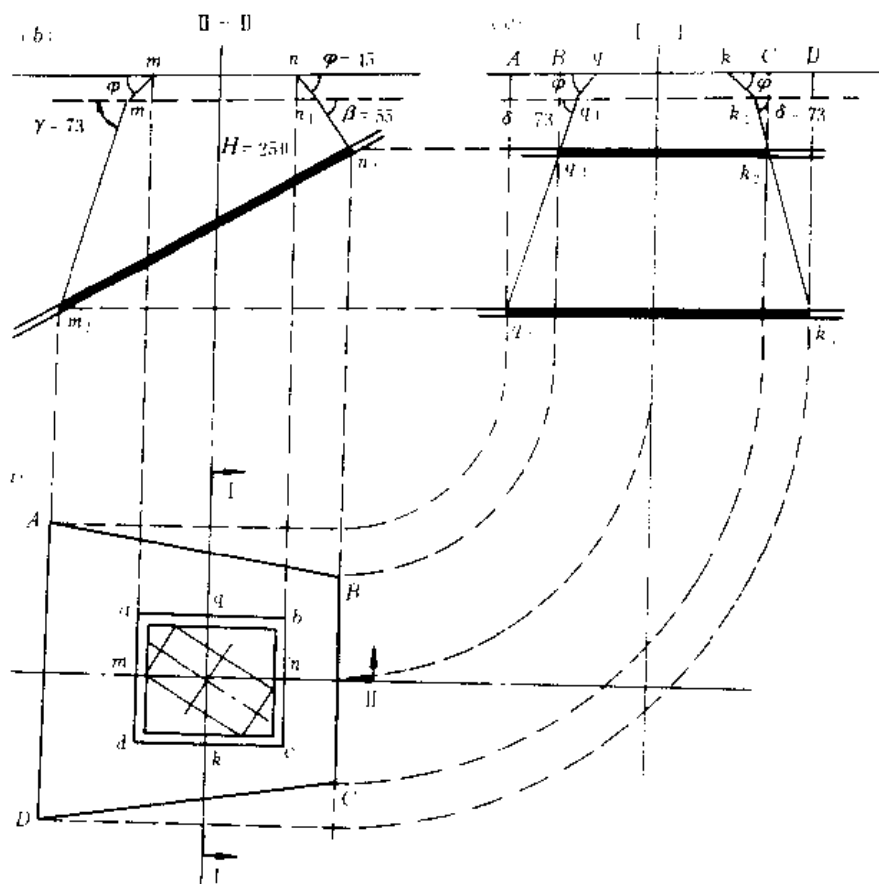
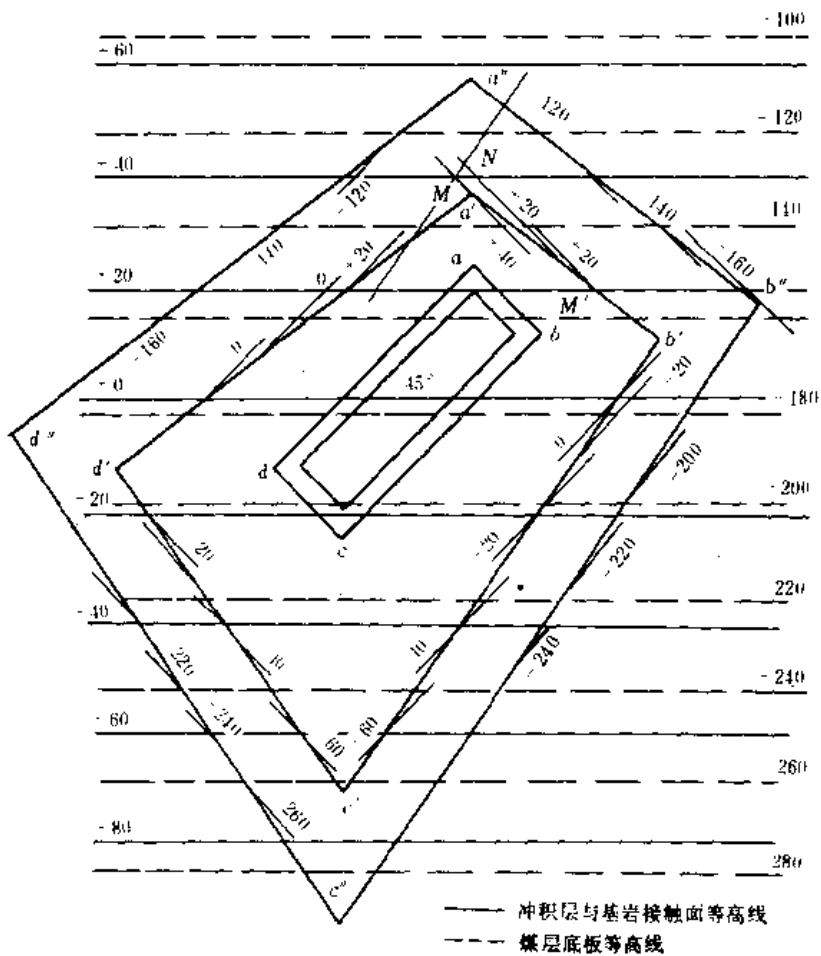
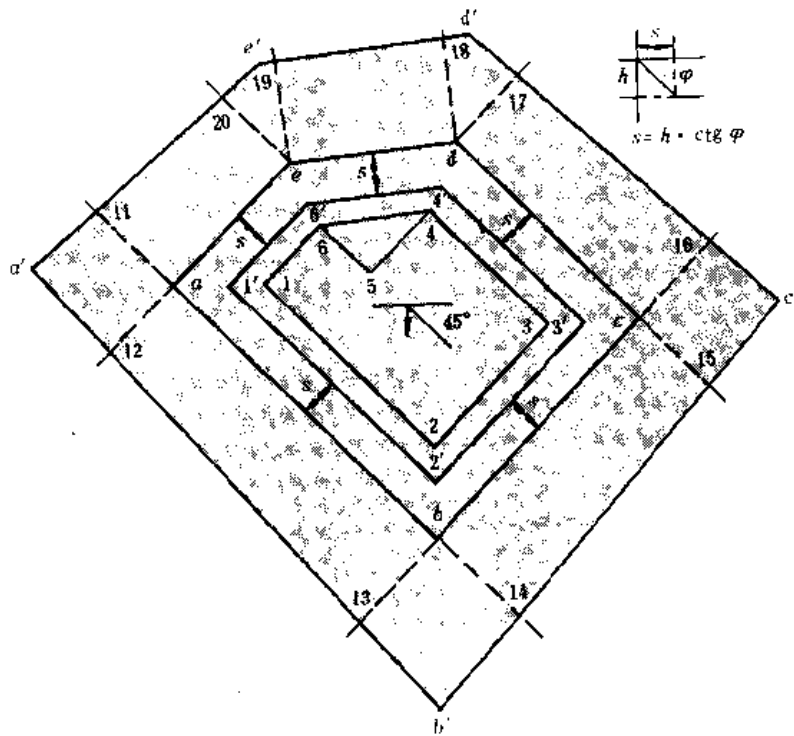


图1 垂直剖面法圈定煤柱



$$\operatorname{ctg}\gamma' = \sqrt{\operatorname{ctg}^2\gamma\cos^2\theta + \operatorname{ctg}^2\delta\sin^2\theta}$$

式中  $\delta$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$  分别为走向、下山、上山方向的基岩移动角； $\theta$  为围护带边界与煤层走向线之间所夹的锐角。

**垂线法** 在平面图上，根据受护对象的角点圈定受护对象的范围，它可以是任意形状的多边形。在多边形外侧加上围护带，即为地面的受护面积。在每条边上，向外按宽度  $s = h\operatorname{ctg}\varphi$  画出冲积层与基岩接触面上的受护面积。再在这每个角点上作各个边的垂线，则在每个垂线上，按上山方向长度  $q$  或下山方向长度  $l$  截取一点，将同一边两个垂线上的点连线并延长相交成一个新的多边形，即为煤柱的边界（图2）。 $q$  和  $l$  按下式计算：

$$q = \frac{(H - h)\operatorname{ctg}\beta'}{1 + \operatorname{ctg}\beta'\cos\theta\operatorname{tg}\alpha}$$

$$l = \frac{(H - h)\operatorname{ctg}\gamma'}{1 - \operatorname{ctg}\gamma'\cos\theta\operatorname{tg}\alpha}$$

式中  $h$  为冲积层厚度； $\alpha$  为煤层倾角； $H$  为在冲积层与基岩接触面上受护面积角点处地表到煤层的垂深。

**数字标高投影法** 在煤层底板等高线图上（当有

冲积层时，图上须有冲积层与基岩接触面的等高线），根据受护对象的角点圈定受护对象的范围，在受护边界外侧加上围护带，即为地面的受护面积。从地面受护面积的每条边界起，按冲积层移动角  $\varphi$  作保护面的等高线，其等高距应与冲积层与基岩接触面的等高线的等高距相同。然后将此两面的同值等高线的交点连线，即得冲积层与基岩接触面上的受护面积。再从冲积层与基岩接触面上的受护面积的每条边界起，按角值  $\beta'$ 、 $\gamma'$ ，用同样的方法可得煤柱的边界（图3）。

垂直剖面法适用于受护对象的外形近似于矩形，且受护边界与煤层走向和倾向近似平行，否则留设的煤柱过大。垂线法用在受护边界与煤层走向和倾向斜交时较好。这两个方法都存在一个问题，即在所留煤柱的角部有部分是多余的。在实际中常常取这两种方法所留煤柱的重叠部分作为最终煤柱的范围。在受护对象是延伸形、冲积层与基岩接触面标高变化较大、煤层产状不规则或存在断层时，宜用数字投影法留设煤柱。

（虞万波）

## P

paituchang celiang

**排土场测量** (dump survey) 在露天矿基建和生产时期对排土场所进行的测量工作。包括提供排土场境界内的图纸资料、标定排土场境界、排土场定期测量、贫矿储存区验方测量、杂煤回收区测量和排土场下沉观测。

**标定排土场境界** 根据在排土场周围建立的测量控制点,按设计图纸求出的境界线上转折点的坐标,用极坐标法或交会法将转折点标定于实地并埋设界桩。

**排土场定期测量** 在露天矿生产时期,为了掌握排土场的情况,在每年6月末和12月末,要对排土场进行测量(见露天采场测量)。布置工作控制点时,可用小三角网或附合导线,也可用激光地形仪敷设支导线。碎部测量可用经纬仪视距法、激光地形仪测记法和经纬仪配合小平板法。测量对象为坡顶线和坡底线、运输线路、采样地点、排水设施、地类界和境界点、下沉观测点。

**贫矿储存区验方测量** 主要目的是求出某时期贫矿的储存量。测量方法见露天采场测量。一般每半年或一年进行一次。通常是计算出期末的储存总量,由该量和上期末的储存总量之差,求出统计期内的贫矿储存量。

**杂煤回收区测量** 主要目的是为了求出杂煤区的损失率和回收率,从而计算出煤的损失量,测量方法见露天采场测量。为了计算煤的损失率和回收率,一些露天矿常设置一些与杂煤回收区平盘斜坡垂直的等间隔固定采样小槽,或是设置一些与平盘和斜坡相平行的固定采样点。由于这些槽和点经常被埋,为了能及时找出其原有位置,在杂煤回收区的境界外,设置一些与阶段相平行和垂直的纵横断面线基点,两断面线的交点即为采样槽、点的位置。

**排土场下沉观测** 目的是为了了解排土平盘下沉和变形的规律,给排土路线的维护提供资料。为此,在排土平盘上设置观测站进行定期观测。观测站布置成方格网形,每个排土带一般至少设3排观测点,点的平

面位置可用导线测量或垂距法测定,点的高程可用几何水准法测定。根据测量成果可求出点的下沉值和下沉速度,绘出点的下沉曲线和下沉速度曲线图。

(连荫海)

pingbanyi

**平板仪** (plane-table) 测绘地形图的仪器,分为大平板仪和小平板仪两种。

**大平板仪** 包括测图板和照准仪及必要的附件。

**测图板** 由图板、基座和三脚架组成。图板通常为边长60cm的正方木板,厚度为2~4cm。

**照准仪** 由望远镜、垂直度盘、支柱和直尺构成。用来瞄准目标,画方向线,测定距离和垂直角(参见彩图插页第56页1,2)。

(1) 直尺。由金属制成,装在照准仪底部。在直尺的一边装有带斜边、可平行移动的平行尺。望远镜瞄准目标后,可用平行尺边对准测站点画出方向线。

(2) 支柱。下面与直尺相连接,上端装有望远镜制动螺旋和微动螺旋。支柱下部装有横轴微动螺旋和横轴水准器,转动横轴微动螺旋使气泡居中时,横轴呈水平。

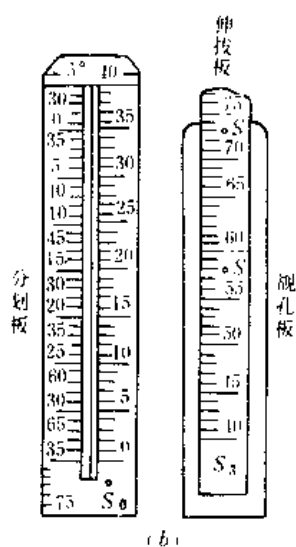
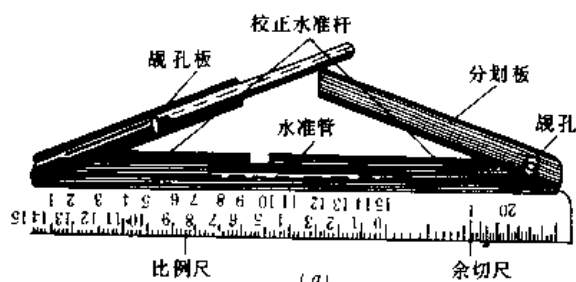
(3) 望远镜。装在支柱上部,望远镜最短视距一般为2m。望远镜十字丝平面上除刻有十字丝和乘常数为100的普通视距丝外,还刻有1/4视距丝。

(4) 垂直度盘。固定在横轴上,与望远镜一起转动,望远镜上仰时读数为正,下俯时读数为负。

**附件** 有对点器、定向罗盘和水准器。对点器用于平板仪对中。定向罗盘用来进行测图板定位。水准器用于整平测图板。

**小平板仪** 它与大平板仪不同之处,主要是照准设备。照准仪的构造如图所示,仅有直尺、觇孔板和分划板构成。

**直尺** 有木制的和金属制的两种,长约20~30cm,在其斜边上刻有分划。为了整平测图板,在直尺上附有一水准管。靠近直尺的两头,还有两个校正水



小平板仪的照准仪

准杆，用以辅助整平照准仪。

觇孔板与分划板 分别连接在直尺的两端，用于瞄准目标。在分划板和觇孔板上都刻有分划，最小分划值等于两板之间距离的  $1/100$ 。通过觇孔瞄准标杆上两固定目标在分划板上截取的格值，依相似三角形原理求得距离和高差。

(刘光宗)

pingbanyi cetu

**平板仪测图** (plane-table mapping) 用大平板仪(见平板仪)在测图板上直接进行地形图的测绘工作。

**原理** 平板仪测图是以控制点和图根点或是以图解交会或图解支导线等方法临时测定的点为测站点，在图上已展绘出的这些点所构成的边与地面上的相应边相互重合或平行时，用大平板仪的照准仪直接测定地面点的平面位置和高程。如图1所示，设在测图板上已展绘出的地面控制点  $A$ 、 $B$  为  $a$ 、 $b$ ，在  $B$  点安置平板仪，进行对中、整平和定向。对中是使地面点  $B$  和

测图板上的相应点  $b$  位于同一铅垂线上。整平是使测图板成水平位置。定向是使测图板上的直线  $ab$  与相应的地面线  $AB$  重合，然后以  $b$  为极点，用大平板仪的望远镜照准地面点  $C$ ，过  $C$  点的直尺边即即为指向  $C$  点的方向线。用视距测量等方法测定  $B$  点到  $C$  点的水平距离和  $C$  点的高程，按测图比例尺  $(1:M)$  沿直尺边自  $b$  点截取相应长度，即得  $C$  点在图上的平面位置。 $ba$  和  $bc$  给出了  $\angle ABC$  的水平投影  $\beta$  角， $\beta$  角即为地面直线  $BA$  和  $BC$  所夹水平角，且  $ba:BA'=bc:BC'=1:M$ ，故图上的  $\triangle abc$  与地面上的  $\triangle ABC$  的水平投影  $\triangle A'BC'$  相似，则由  $ac:A'C'=1:M$  可求得地面上  $AC$  的水平距离。

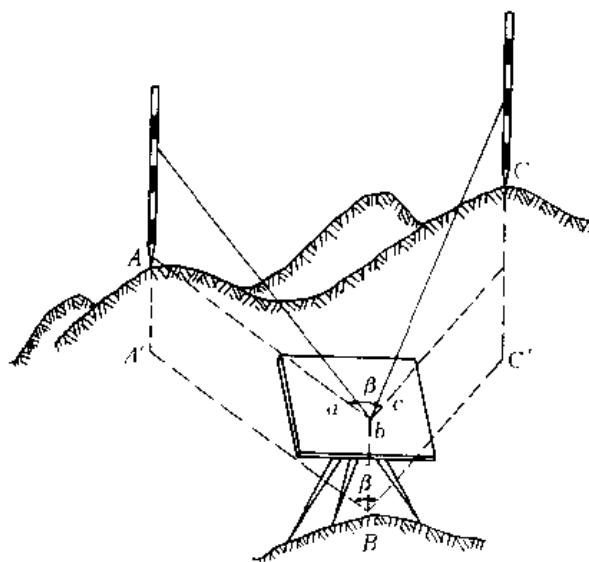


图1 平板仪测图原理

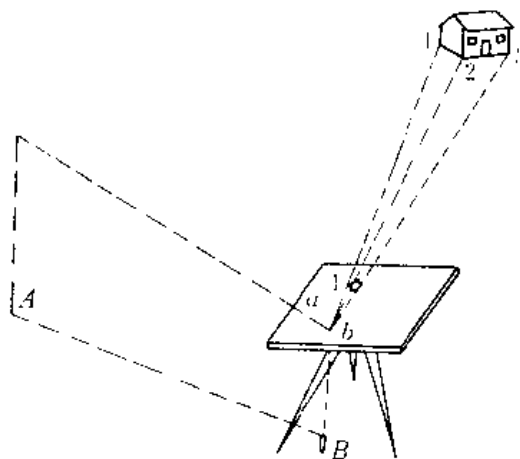


图2 平板仪测图示意图

按上述相似原理,对地物、地貌特征点逐点逐站地边测边绘,即可测绘出地形图。

地物地貌测绘 利用大平板仪直接测绘地物、地貌的特征点(碎部点)并描绘成图的工作。

地物包括自然地物(如河流、湖泊、森林、草地、独立岩石等)和人工地物(如房屋、铁路、公路、水渠、桥梁等)。凡是能以比例尺表示的地物,均应将它们的水平投影位置按相似的几何形状描绘在地形图上。对不能以比例尺表示的地物,则以相应的地物符号表示在地物的中心位置上,如水塔、烟囱、纪念碑等。地物测绘主要是测定其形状的特征点,如地物的转折点、交

叉点和中心点等,连接这些特征点,可得与实地相似的地物形状。如测绘矩形房屋时,在测出房屋三个房角的位置后,即可确定整个房屋的位置,如图2所示。

地貌是指地球表面高低起伏、凸凹不平的自然形态,常用等高线表示,故地貌的测绘主要是等高线的测绘。首先要测定地貌特征点,如山顶和鞍部、山脊和山谷的地形变换点、山坡倾斜变换点、山脚地形变换点等。用平板仪采用极坐标法或交会法测定这些特征点在图上的平面位置和高度,同时连接地性线。如图3a所示,通常以实线连成山脊线,以虚线连成山谷线。地性线连接好后,在同一坡度的两相邻点之间,内插出整米高程的等高线通过点,如图3b所示,并参照实地,把相等高程的点连接起来,即为等高线,如图3c所示。

地形图是分幅测绘的,为保证相邻图幅的相互拼接,每一幅图的四边一般均需测出图廓外5mm以上。拼接时,要检查相邻图幅两边的地物、地貌是否衔接,注记名称是否相同,地物有无遗漏,地形总貌是否一致。一般规定,地形图的接边较差不大于规范规定的地物、地貌测绘中误差的 $2\sqrt{2}$ 倍。小于限差时,平均配赋,注意保持地物、地貌相互位置和走向的正确性。超过限差时,则应到实地检查纠正。

(刘光宗 乔印文)

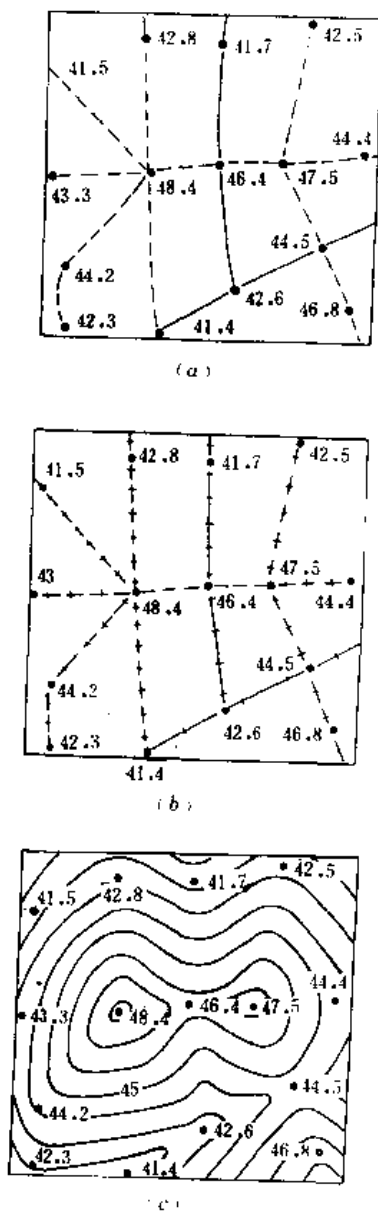


图3 地形图

pingmian kongzhiwang jishu sheji

**平面控制网技术设计** (technical design for horizontal control network) 依据生产任务要求,结合测区自然特点和地形条件,以最佳的图形在图上拟定平面控制网的具体点位和最适宜的布网方案,并进行精度估算的工作。其目的是制定技术方案,合理安排和正确实施,使测绘成果符合技术指标和矿区开发的需要。在设计时应根据测区的位置、面积和地形条件,选择适宜的投影带和投影面(见矿区平面控制测量)。图上设计结束后,需到实地确定控制点的具体位置,视标高度和类型,标石的类型和埋设方法。最后依据确定的布网方案,确定水平角和距离观测方法,进行精度估算或观测值最佳配置的优化设计,编写技术设计说明书。

要求 在一个矿区内相邻各矿必须采用统一的坐标系;控制网的布设尽量考虑长远发展的需要;为满足1:500~1:2000大比例尺测图和两井间大型贯通测量精度要求,控制网相邻点相对点位中误差应不超过±5cm;控制点尽量选在能长期保存的稳定地点。

**精度估算** 平面控制测量中的起算坐标、边长和坐标方位角称为起始元素。直接观测的方向（或水平角）和边长称为观测元素。待定边边长、坐标方位角和待定点坐标称为推算元素。精度估算是指估算推算元素的精度，包括有：最弱边坐标方位角中误差、最弱边边长相对中误差、最弱点点位中误差、最弱相邻点相对点位中误差。估算方法如下：

(1) 单位权中误差  $m_0$  按设计中拟定的控制网等级，依有关规程确定。

(2) 在适当比例尺图上，按设计的控制网点位置，量取边长、坐标方位角和坐标的概略值。组成误差方程的系数矩阵  $A$ ，确定权矩阵  $P$ ，组成法方程系数矩阵  $N = A^T P A$ ，求得未知参数协因数阵  $Q_{XX} = (A^T P A)^{-1}$ 。

(3) 计算未知参数中误差： $m_X^2 = m_0^2 Q_{XX}$ ，式中  $Q_{XX}$  为协因数阵对角线各元素。

(4) 计算未知参数函数中误差：未知参数函数式为  $\varphi = F^T X + F_c$ ；权函数式  $Q_\varphi = F^T Q_{XX} F$  和未知参数函数中误差为  $m_\varphi^2 = m_0^2 Q_\varphi$ 。

**可靠性估算** 一般以多余观测分量  $\gamma_i$  作为衡量控制网可靠性的指标。在观测值相互独立的情况下，多余观测分量的计算公式为  $\gamma_i = 1 - A_i Q_{XX} A_i^T P_i$ ，式中  $A_i$  是误差方程式系数阵  $A$  中第  $i$  个行向量。 $\gamma_i$  在 0~1 之间取值， $\gamma_i$  愈大说明可靠性愈强。要求控制网各观测值的可靠性相对比较均匀。

**优化设计** 国际上对控制网优化设计主要按照 Grafarend 的分类法进行：零类设计——把控制网作为自由网平差，以便确定网的各个参数；一类设计——在给定观测纲要下，选择最佳的网点配置；二类设计——在给定的网点位置下，制定最佳的观测纲要；三类设计——对现有网补充测量或改造，制定最佳观测纲要。根据矿区生产特点，矿区控制网优化设计重点是讨论二、三类设计问题。目前进行优化设计的数学处理方法基本上可分为两种：一是机助模拟法，该法简单、直观、方便，并可将设计者经验知识结合进去，又便于工程技术人员掌握；二是解析法，运用该法须先建立优化问题的数学模型，即把设计的要求，受到的限制等表示为函数形式，汇编电算程序利用计算机自动解析出最佳方案。此法比较严谨，困难及关键在于如何合理地将实际的设计问题抽象归纳为数学式。

(刘光宗)

pingmian zuobiao

**平面坐标** (horizontal coordinate) 表示点的平面位置。中国一般采用以高斯-克吕格投影分带的

中央子午线为纵轴和赤道的投影为横轴的高斯-克吕格平面直角坐标系，简称高斯平面坐标系。坐标纵轴为  $x$ ，自原点向北为正；坐标横轴为  $y$ ，自原点向东为正。点的平面坐标为  $(x, y)$ 。选任意子午线为坐标纵轴和高斯投影面的坐标系或选高斯-克吕格投影分带的中央子午线为纵轴和任意高程面的坐标系，则属于地方（矿区）平面坐标系。如果任意选定坐标原点和  $x$  轴方向，则称独立平面坐标系。

在平面坐标系中，由已知点  $A(x_A, y_A)$  计算未知点  $B$  的坐标称坐标正算（见图），按下式计算：

$$x_B = x_A + \Delta x_{AB}$$

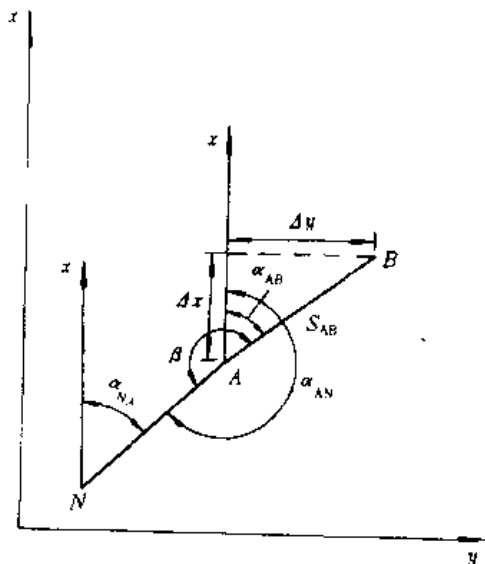
$$y_B = y_A + \Delta y_{AB}$$

式中  $\Delta x_{AB}$  和  $\Delta y_{AB}$  是点  $B$  对点  $A$  的坐标增量，可按下式计算：

$$\Delta x_{AB} = S_{AB} \cos \alpha_{AB}$$

$$\Delta y_{AB} = S_{AB} \sin \alpha_{AB}$$

式中  $S_{AB}$  是直线  $AB$  的水平投影长度； $\alpha_{AB}$  是  $AB$  边方向的坐标方位角，可根据已知的方位角  $\alpha_{AN}$  和测得的水平角  $\beta_A$  计算， $\alpha_{AB} = \alpha_{AN} + \beta_A = \alpha_{NA} \pm 180^\circ + \beta_A$ ， $\beta_A$  定义为方位角推算方向左侧的水平角。



坐标计算

根据两点平面坐标计算坐标方位角和边长，称坐标反算。若已知  $A, B$  两点坐标  $(x_A, y_A)$  和  $(x_B, y_B)$ ，则可得：

$$\alpha_{AB} = \arctg \frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} = \arctg \frac{\Delta y_{AB}}{\Delta x_{AB}}$$

$$S_{AB} = \frac{\Delta x_{AB}}{\cos \alpha_{AB}} = \frac{\Delta y_{AB}}{\sin \alpha_{AB}} = \sqrt{(\Delta x_{AB})^2 + (\Delta y_{AB})^2}$$

(胡昌斌)



pingmian zuobiao xitong

## 平面坐标系 (horizontal coordinate system)

确定地面点平面位置所采用的参考系。大地测量、矿区控制测量、地形测量和工程测量所采用的平面坐标系主要有：高斯-克吕格平面直角坐标系、地方（矿区）平面坐标系、独立坐标系。

**高斯-克吕格平面直角坐标系** 根据高斯-克吕格投影所建立的平面坐标系，简称高斯平面坐标系。它是大地测量、工程测量和地图制图中广泛采用的一种平面坐标系。

**高斯-克吕格投影** 大地测量成果，即大地坐标  $(L, B)$ ，不能满足地形测图和工程测量的要求，需将它们按一定的数据关系转换为平面直角坐标。1882年，德国著名数学家、物理学家、天文学家和大地测量学家 C. F. 高斯 (C. F. Gauss) 提出了一种投影方法，后经德国的 J. H. L. 克吕格 (J. H. L. Krüger) 于 1912 年加以扩充而完善，故称高斯-克吕格投影。设大地坐标为  $(B, L)$ ，转换为平面直角坐标为  $(x, y)$ ，则可表示为：

$$x = F_1(B, L)$$

$$y = F_2(B, L)$$

式中  $F_1$ 、 $F_2$  为投影函数。高斯-克吕格投影的性质是：①正形投影，投影后角度保持不变；②某一子午线投影后仍为直线，且无长度变形，即长度比为 1，该子午线称为中央子午线或轴子午线；③赤道投影后仍为直线且与中央子午线正交。

高斯-克吕格投影属于等角横轴切圆柱正形投影。设想将截面为椭圆的一个圆柱套在地球的外面（图 1），圆柱的中心轴  $EE_1$  在赤道面内，圆柱面与地球面相切在中央子午线上。按正形投影原理将中央子午线、赤道和中央子午线东、西一定范围内的地区投影到圆柱面上，然后展成一平面，得出在中央子午线两侧的一部分地区在平面上的投影，该平面称为高斯投影面（图 2）。

以投影至高斯投影面上的中央子午线为纵轴（ $x$

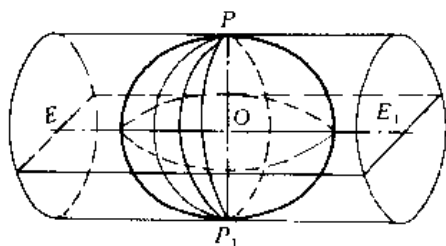


图 1 高斯-克吕格投影

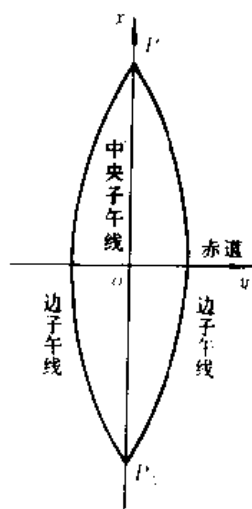


图 2 高斯平面直角坐标系

轴)，向北为正；以赤道为横轴（ $y$  轴），向东为正；两者交点  $O$  为原点，形成了高斯平面直角坐标系。

**高斯-克吕格投影分带** 高斯-克吕格投影是将一个不可展的地球椭球面变换成平面。这种变换不可避免会产生变形，离中央子午线越远其长度变形越大，投影变形过大则不能满足应用精度要求。为了把投影后的长度变形限制在一定范围内，克吕格提出将地球椭球按子午线划分成适当个投影带，采用分带投影的办法，把投影区限制在窄小区域内。带宽一般常采用  $6^\circ$  或  $3^\circ$ 。每一投影带采用各自独立的高斯平面直角坐标系。

国际分带方法是以通过英国格林尼治 (Greenwich) 天文台的子午线为零子午线起算，经度每隔  $6^\circ$  或  $3^\circ$  作为一个投影带，自西向东划分。 $0^\circ$  至  $6^\circ$  为  $6^\circ$  带的第 1 带，其中央子午线  $L_0 = 3^\circ$ ； $6^\circ$  到  $12^\circ$  为第 2 带，其中央子午线  $L_0 = 9^\circ \dots$ 。依次将地球分为 60 个  $6^\circ$  带（图 3）。各带中央子午线的经度  $L_0$  与带号  $N$  的关系为： $L_0 = 6N - 3$  或  $N = (L_0 + 3)/6$ 。 $3^\circ$  带是在  $6^\circ$  带的基础上划分的。 $6^\circ$  带中央子午线及其分带子午线都是  $3^\circ$  带的中央子午线（图 3）。 $3^\circ$  带中央子午线  $L_0$  与带号  $n$  的关系为： $L_0 = 3n$ 。

国家大地点均计算其在  $6^\circ$  带内的高斯平面坐标，在 1:10 000 或更大比例尺测图地区，还计算其在  $3^\circ$  带内的高斯平面坐标。在每个投影带内，以中央子午线和赤道的交点为坐标原点。为避免横坐标 ( $y$ ) 出现负值，规定横坐标  $y$  均加 500km。

**地方（矿区）坐标系** 为减小在  $3^\circ$  带分带子午线附近地区采用高斯-克吕格投影所产生的长度变形，满



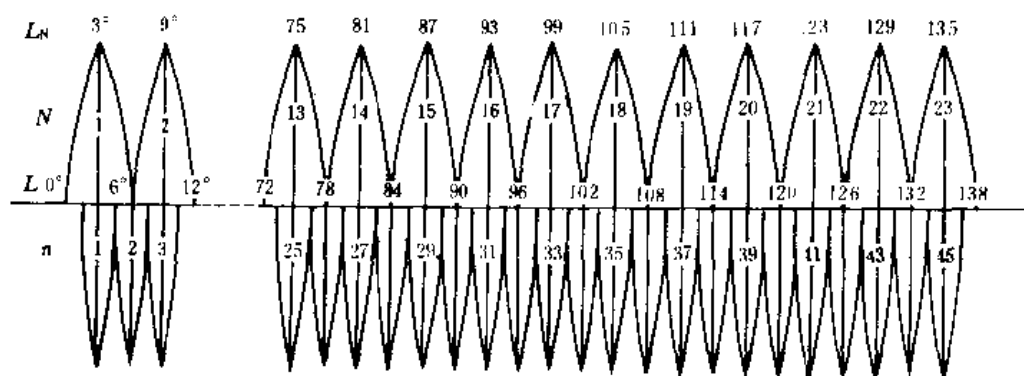


图3 高斯-克吕格投影分带

足较大比例尺测图或工程测量的精度要求,采用高斯-克吕格投影、任意中央子午线或任意高程投影面所建立起的平面坐标系。它与高斯平面坐标系存在换算关系。

**独立坐标系** 与高斯平面坐标系无换算关系的坐标系,即以平面控制网中一个点的假定坐标和测定的一条边长、一条边的坐标方位角作为平面控制网的必要起算数据所建立起的平面坐标系。

**矿区平面坐标系选择** 矿区地质勘探阶段所建立的平面控制网和采用的坐标系,主要是为了满足地形测图和地质勘探工程测量的需要。矿山建设和生产阶段的矿区控制网主要是满足大比例尺测图和采掘工程测量的需要。地质勘探阶段所建立的控制网和采用的坐标系不能满足采矿工程测量的要求,需改建或重建矿区平面控制网时,可重新选定矿区平面坐标系。选择矿区平面坐标系遵循的原则是:①一个矿区应采用统一的坐标系;②为便于成果、成图的相互利用,应尽可能采用国家3°带高斯平面坐标系;③便于日常测量和成果计算。

中央子午线和投影面是平面坐标系统的两个基本要素。矿区平面坐标系的选择,可根据矿区所在的地理位置、平均高程和矿区的总体设计,在允许的边长变形范围内选择适宜的中央子午线和投影面。矿区内实测边长投影后的变形  $\Delta S/S < y_m^2 / (2R^2) - H_m/R \approx 1/40\,000$  时,应采用国家统一的3°带高斯平面坐标系。式中第一项为投影到高斯平面的变形;第二项为投影到参考椭球面或大地水准面的变形; $R$  为参考椭球体的平均曲率半径; $y_m$  为测边两端点横坐标的平均值; $H_m$  为测边平均高程。矿区远离国家3°带中央子午线或地处高原,可采用矿区任意带中央子午线或矿区平均高程面上的高斯平面坐标系,这样的坐标系称为

矿区坐标系。

(1) 矿区地处3°带中央子午线附近,矿区平均高程面较高,可选择“抵偿高程面”作为投影面,按3°带高斯正形投影计算平面直角坐标。将边长由较高的高程面化算至较低的椭球面时,长度总是减小的。将椭球面上的边长投影到高斯平面上,长度总是增加的。根据两者的补偿性,如果适当选择椭球半径,使长度化算到这个椭球面上所减小的数值,恰好等于由这个面投影到高斯平面上所增加的数值,从而使高斯平面上的边长同实测边长一致。这个适当半径的椭球面,称为“抵偿高程面”。欲使长度变形得以抵偿,须满足:  $H_m/R = y_m^2/2R$ 。变形等于零的抵偿高程面的高程为:  $H_0 = y_m^2/2R$ 。用变更投影面的方法限制边长变形,具有换算直观、简单的优点。为解决与国家统一坐标系统的换算问题,需选定一个国家点作为矿区坐标系的起算坐标。

(2) 矿区远离3°带中央子午线,且矿区平均高程面较低,可仍以国家统一的椭球面作为投影面,采用矿区中部的子午线为中央子午线,按高斯正形投影计算平面直角坐标。由于重新选择中央子午线位置,可以使边长投影到该投影带所产生的变形,恰好抵偿边长投影到椭球面所产生的变形,使高斯平面上的边长同实测边长基本保持一致。这种能够抵偿长度变形的投影带称为“抵偿投影带”。抵偿投影带的中央子午线的经度  $L_0$  按下列公式计算:

$$L_0 = L - i$$

$$i = 3570 \sqrt{H/b_1}$$

式中  $b_1$  为纬度  $B$  处的单位经差(″)所对应的平行圈弧长;  $b_1 = N \cos B / \rho''$  ( $N$  为卯酉圈弧长),也可以  $B$  为引数,从《高斯-克吕格投影计算表》查得; $H$  是以  $m$  为单位的测区平均高程。

(3) 矿区远离 $3^{\circ}$ 带中央子午线,并且地处高原,可选择通过矿区中部的子午线为中央子午线,矿区平均高程面为投影面,按高斯正形投影计算平面直角坐标。选择这种坐标系统可以使广大范围内的长度变形都较小。为解决与国家统一坐标系统一换算问题,一般是选择测区内的一个国家点做为原点,并将其 $6^{\circ}$ 带高斯平

面坐标换算成所选定的矿区中央子午线的 $3^{\circ}$ 带高斯平面坐标,作为矿区平面控制网的起算坐标。

(4) 矿区面积较小,并且矿区附近没有已知高斯平面坐标的点可作为矿区平面控制必要起算数据,可采用独立坐标系。

(李燮望)

# Q

quanqiu dingwei xitong celiang

**全球定位系统测量** (survey by global positioning system) 利用全球定位系统进行定位测量的技术和方法。全球定位系统是导航卫星测时和测距/全球定位系统 (Navigation Satellite Timing and Ranging/Global Positioning System, NAVSTAR/GPS, 通常简称为 GPS) 的简称, 是美国国防部主持开发的第二代卫星导航定位系统。现在, 这种测量技术和方法已经在大地测量、工程测量、地籍测量、航空摄影测量、城市规划、地壳形变监测与地震预报、地球动力学研究等领域显示出良好的应用潜力和效益。

**组成和特点** GPS 系统由卫星星座、地面监控系统 and 用户接收机三部分组成。

**卫星星座** 根据美国国防部 1991 年 5 月发布的调整后的 GPS 卫星发射计划, 卫星星座由 21 颗工作卫星和 3 颗备用卫星组成, 分布在 6 个等间隔的轨道面上。第一颗 GPS 卫星于 1978 年发射升空。1993 年已完成卫星星座的部署, 共有 24 颗卫星实现全球三维覆盖, 在全球任何地方任何时刻都可以同时观测到 4 至 9 颗高度角大于  $10^\circ$  的 GPS 卫星。1995 年以后, 美国将使用改进的 Block II 代替 Block I 卫星, 以增强 GPS 系统的能力。GPS 卫星上安装有高精度的原子钟、微型计算机和信号发射装置。发射的无线电载波信号的频率和波长为:  $f_1 = 1575.42\text{MHz}$ ,  $L_1 = 19\text{cm}$ ;  $f_2 = 1227.60\text{MHz}$ ,  $L_2 = 24\text{cm}$ 。载波上调制有两种导航信号和电文信号。根据导航信号码率的不同, 分为粗码 (C/A 码) 和精码 (P 码) 两种。电文信号的内容包括卫星星历表、各种改正数和卫星的工作状态等。借助电文信号, 接收机可以选择图形最佳的一组卫星进行观测, 以取得较好的定位成果。

**地面监控系统** 由主控制站、监测站和注入站组成。监测站负责对每颗卫星进行连续跟踪、观测, 并将测得的数据经预处理后传输给主控制站。主控制站计算卫星的星历、钟差改正数, 然后将结果传送给注入站。注入站将指令注入给相应的卫星, 以建立和维护一

个高精度的 GPS 系统。

**用户接收机** 接收机由主机和天线组成 (参见彩图插页第 50 页)。用户使用的各种 GPS 接收机接收 GPS 卫星信号, 经过电子计算机处理后可得到用户需要的导航或定位数据。由于许多接收机采用了先进的伪随机码调制解调技术, 因此具有良好的抗干扰和微弱信号接收能力, 接收机可以做得很小, 功耗很低。随着微电子技术和数字滤波技术的发展, 接收机的体积和功耗将进一步减小, 而性能价格比将逐年提高。

**坐标系** 目前全球定位系统使用的是新的地心地固坐标系——1984 世界大地坐标系 (World Geodetic System 1984, WGS-84)。它是根据近年来最新的测量技术所得到的观测数据和最新的理论研究成果, 推导出的更为精确的重力场模型和参考椭球参数, 坐标原点也更加靠近地心。GPS 用户接收机直接得到的坐标值是以 WGS-84 坐标系为基准的。当用户需要将 GPS 测量结果与经典大地测量坐标建立联系和比较时, 必须进行坐标的转换。

在卫星大地测量中, 进行坐标系转换时, 常用 7 参数保角变换的布尔沙-沃尔夫模型。如图 1 所示, 设由 GPS 观测得到的  $P$  点在 WGS-84 坐标系中的坐标为  $X_s$ , 在局部坐标系的坐标为  $X_l$ , 则由布尔沙-沃尔夫模型可给出  $X_s$  和  $X_l$  之间的关系为:

$$X_s = S \cdot R(\omega_x, \omega_y, \omega_z) \cdot X_l + X_0 \quad (1)$$

式中  $S$  为坐标转换的尺度因子;  $X_0 = (\Delta x, \Delta y, \Delta z)^T$  是坐标转换的平移矢量;  $\Delta x, \Delta y, \Delta z$  为坐标原点的平移分量;  $R(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$  为坐标转换的旋转矩阵;  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  为相应坐标的旋转角。当旋转角值小于  $3''$  时,

$$R \approx \begin{bmatrix} 1 & \omega_x & -\omega_y \\ -\omega_x & 1 & \omega_z \\ \omega_y & -\omega_z & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

上述坐标转换的 7 个参数值可从国家或地区测绘主管部门取得, 或自行求定。如果自行求定, 可以在作业地区选择均匀分布的一些已知点 (已有局部坐标系中的坐标) 进行 GPS 测量, 求出这些点的 WGS-84 坐

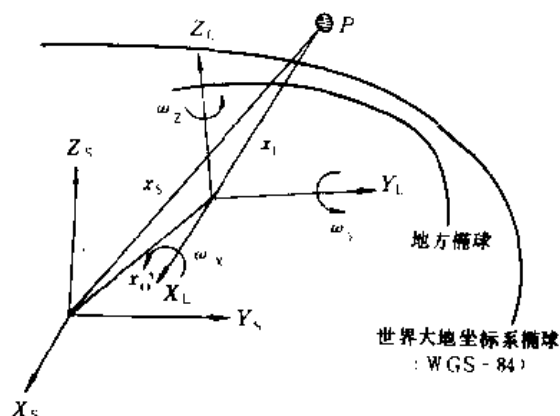


图1 世界大地坐标系与局部坐标系

标, 然后应用式 (1) 求解转换参数。

GPS 测量除能够给出经纬度外, 若同时观测 4 颗卫星, 还能给出测站的高程。但它是以 WGS-84 为基准的椭球面高程, 与常用的正高不同。若地面某一点的正高为  $H$ , 大地高为  $h$ , 则它们之间的差为该点的大地水准面差距  $N$ , 且  $H = h - N$ 。

在高精度 GPS 测量中, 往往在两个测站上对同一组卫星进行同步载波相位测量, 经后处理求出两个站的坐标差。这时所得到的高程分量与正高差有如下关系:

$$\Delta H = \Delta h - \Delta N$$

式中  $\Delta H$  为两站的正高之差;  $\Delta h$  是由 GPS 测量求得的两站大地高之差;  $\Delta N$  是两站大地水准面差距之差。

**时间系统** 时间是全球定位系统的基本观测量之一。GPS 采用一个独立的时间系统作为导航定位计算的依据, 这个时间系统称为 GPS 时间系统, 简称 GPST。它以原子频率标准作为时间系统的基准。GPS 主控站的原子钟定期调整, 使之与 UTC (协调世界时) 同步, 并且规定它的起点在 1980 年 1 月 6 日 UTC 的 0<sup>h</sup>。GPST 与 UTC 的秒以下的差异可保持在 100 $\mu$ s 以内。这两种时间系统的关系及其常数差可以从导航电文第 4 子帧中获取。GPST 与 UTC 的关系是: 1985 年 GPST = UTC + 4s。GPST 与国际原子时 (TAI) 的时标, 在任何瞬时有 19s 常量偏差, 即 GPST + 19s = TAI。

#### GPS 定位测量

**基本定位测量方法** GPS 卫星定位测量的基本定位方法有静态定位和动态定位, 单点定位和相对定位之分。按基本定位测量的原理论, 则有伪距法定位、载波相位测量定位和射电干涉测量定位等几种。

如果待定点相对于周围的固定点没有可察觉到的运动, 或者其运动极其缓慢以致在一次观测期间 (一般为几个小时至几天) 无法被觉察到, 因而在进行观测资料处理时待定点的位置可以认为是固定不动的, 则确定这些待定点位置的测量称为静态定位。监测地壳形变、测量地表沉陷、监测地球板块运动等属于这种定位。反之, 如果在一次观测期间待定点相对于周围固定点有可察觉到的运动, 或者显著的运动, 则确定这些待定点位置的测量称为动态定位。静态定位能够通过大量的重复观测来提高定位精度, 是精密定位的基本作业模式。

独立确定待定点在 WGS-84 坐标系中的绝对位置的方法称为单点定位或绝对定位。单点定位的优点是只需使用一台接收机即可独立定位, 外业观测、数据处理也较简便, 缺点是定位精度较低。这种定位模式在地质矿产勘测、河海浮标定位、导航及低精度测量中应用广泛。相对定位是使用若干台接收机同步跟踪、观测几颗相同的 GPS 卫星信号, 以确定接收机站之间的相对位置的定位方法。由于各同步观测值中存在的许多误差相同或大体相同 (特别是当测站间的距离较短时), 因而这些误差可得以消除或减弱, 使定位精度很高。相对定位需要使用至少两台接收机进行同步观测, 必须已知其中某点的坐标值。这种定位模式既可用于静态定位, 也可用于动态定位。

测地型 GPS 接收机大都选用相对定位的作业模式。常用的作业方法有: 静态相对定位、准动态相对定位、快速静态相对定位、动态相对定位等。静态相对定位法的特点是, 基线边往往构成闭合图形, 以便于成果检核和进行 GPS 网平差, 因而精度高, 适宜于建立各级大地控制网、工程网和变形监测网, 进行岛屿-陆地联测及海上精密定位等。准动态相对定位又称停行 (Stop/go) 动态测量, 测量方法是, 在测区中选择一基准站, 该站上的接收机连续跟踪、观测可见卫星, 其他接收机分别在待测点上流动观测。这种作业方法适宜于在开阔地区进行加密测量、工程定位、线路测量及细部测量等。动态相对定位又称差分动态定位。该法是在一基准点上安置一台接收机, 连续跟踪所有可见卫星, 另一台接收机安置在运动的载体上, 在出发点上按快速静态相对定位法观测卫星若干分钟, 然后接收机随载体在运动过程中按预定的时间间隔自动观测, 实现载体的连续定位。定位精度可达 1~2cm。

**伪距法定位** 导航和低精度定位测量时常用的一种定位模式, 具有抗干扰能力强、保密性能好、速度快、无多值性问题等优点, 其精度足以满足一些用户的要求。此外, 精确的伪距测量资料也有助于解决载波相位



测量中整周模糊度等问题。

伪随机码测距的原理是,测定自 GPS 卫星发射的伪随机码信号至用户接收机之间的传播时间  $\tau$ ,而电磁波的传播速度  $C$  为已知,则可求得卫星至接收机之间的距离  $P = C\tau$ 。传播时间  $\tau$  的确定方法是使接收机产生的卫星发射信号的复制信号(又称本地信号)和所接收到的卫星信号进行相关计算,然后通过测量相关函数最大值的位置来测定传播时间。待测距离  $\rho$  与卫星的地心坐标  $(x_s, y_s, z_s)$  和接收机(指天线的相位中心)的坐标  $(x, y, z)$  之间有如下关系:

$$\rho = \sqrt{(x_s - x)^2 + (y_s - y)^2 + (z_s - z)^2} - C \cdot \Delta t_R \quad (3)$$

式中  $C\Delta t_R$  为接收机的钟差。卫星的坐标可根据卫星导航电文求得,因此,若同时对 4 颗卫星进行伪距测量,则可解算出接收机的位置和接收机的钟差改正数。

当利用若干台接收机同时对几颗相同的卫星进行伪距测量时,由于卫星的钟差、星历误差,以及对流层和电离层的折射误差对各同步观测站的影响相同或大体相同,在求各测站的坐标差时可相抵消,因而可获得精度较高的相对位置。

伪距测量是以测距码作为量测信号的,量测的精度约为一个码元长度的 1%,对 P 码而言量测精度约为 30cm,对 C/A 码约为 3m。

**载波相位测量** 其观测是接收机所接收到的卫星载波信号与接收机本振参考信号之间的相位差。它不使用码信号,不受码控制的影响,属于非码测量方式。目前,测地型接收机载波相位测量的精度一般为 1~2mm,有的甚至可达 0.01mm。但载波相位测量必须解决重建载波、整周未知数和整周跳变(简称周跳)等特有问題。

由于卫星发射的载波已调制了测距码和导航电文,每当它们从“0”变“1”或从“1”变“0”的地方,载波相位均要变化  $180^\circ$ ,从而使载波信号的相位不连续。为此,在进行载波相位测量之前,必须进行解调工作,设法将调制在载波上的测距码和导航电文去掉,以重新获取载波,这一工作称为重建载波。重建载波一般采用两种方法,即码相关法和平方方法。

类似于相位法光电测距原理那样,完整的载波相位测量的相位差观测是由初始时刻的整周不定参数  $N_0$ 、连续计数的整周数  $N$  和不足一整周的相位尾数这三部分组成。对于  $N_0$  和不足一整周的相位尾数都能以极高的精度测定。而在整周数  $N$  的连续计数过程中,可能由于某种原因发生计数器中断计数,之后又自动恢复计数,因而在中断期间将丢失若干个整周数,这种现象称为整周跳变。如果能探测出在何时时刻发生了

整周跳变,并求出丢失的整周数,则能对中断后的整周计数进行改正,恢复为正确的计数,这一工作称为整周跳变的探测和修复。

探测和修复周跳的方法很多,常用的有三种:高次差或多项式拟合法、卫星之间求差法和三差观测量探测法。采用何种方法探测和修复周跳,要根据具体情况而定。一般来说,是先采用较简便、精度较低的方法来发现和修复大周跳,然后再采用精度较高的公式来寻找并修复小周跳,最后通过三差量加以检验。如果是双频观测值,则可利用电离层延迟来寻找和修复周跳。周跳的产生与接收机的质量及观测条件有密切关系。要获得一组正确且质量较好的观测值,应该从选择接收机机型、选点、组织观测工作等多方面加以注意,不能期望通过上述内业处理的方法来完全解决探测和修复周跳的问题。

周跳问题解决之后,即可确定整周未知数  $N$ 。其常用方法有:伪距法、多普勒法(三差法)、动态定位法、将  $N$  当作平差中的待定参数求解法两次设站法、快速确定整周未知数法、模糊函数法和短基线法等。

载波相位测量的基本方程式(3)中包含的测站坐标和钟差等未知数,可在平差时一并解算求得;也可将载波相位观测值求差,消去钟差等未知数后,再进行平差解算测站坐标未知数。后一种方法叫做求差法,它减少了未知数的个数和计算工作量。求差法是对观测值的一种线性组合,并且可分为卫星间求差、接收机间求差和不同历元间求差等几种情况。若按求差的次数,又有一次差(单差)、二次差(双差)以及三次差(三差)的不同做法。

**GPS 测量的数据采集和数据处理** 数据采集通称外业工作,分为准备工作和采集实施两个阶段。准备工作主要包括:选用适宜的接收机、检验接收机的基本性能、设计 GPS 定位网和选择合适的站址等。在实施数据采集时应按有关 GPS 测量规范进行,注意做好下述工作:根据测区情况,精心组织每一个子环路的实测方案,以提高效率;选取适当的卫星高度截止角;严格执行各项观测操作;及时检查、评定观测数据的质量。

GPS 测量数据处理的基本内容包括观测值的粗加工、预处理、基线向量解算以及 GPS 基线向量网与地面网数据的综合处理等。其工作流程如图 2 所示。

**在测量中的应用** 与现有的各种测量技术和导航定位系统相比, GPS 测量可实时提供三维位置、三维速度和一维时间共七维信息,具有全天候工作能力,不要求测站之间通视,不受地形条件的限制等优点。目前,静态定位的精度可达 0.01ppm,动态相对定位的精度可达 1~2cm。因此, GPS 导航和定位测量技术在

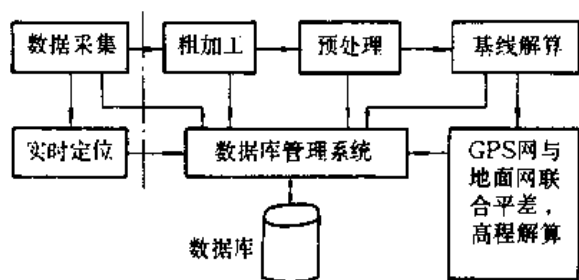


图2 GPS测量数据处理的基本流程

军事、工程建设、交通、科学研究、灾害监测和矿产资源探测等领域具有广泛的应用前景。在测量和地球物理中的应用主要包括大地测量、工程测量和矿山测量、摄影测量和遥感，以及地球动力学等。

(1) 大地测量。建立中国GPS卫星跟踪网、区域三维大地控制网或加密现有大地网，确立局部大地水准面或正高，并且是改善高程异常精度的一种迅速而经济的手段。

(2) 工程测量和矿山测量。应用内容相当广泛，如直接测定矿井口、隧道洞口点的相对位置；进行建(构)筑物形变、地表沉陷监测；铁路、公路的施工测量等。

(3) 摄影测量和遥感。其应用将使摄影测量和遥感的几何定位和地学编码实现自动化。目前，比较有效的应用是航摄飞机的空中导航和无地面控制的空中三角测量。

(4) 地球动力学。GPS能在上百公里距离的区域中监测地壳形变、板块运动和地震活动。水平方向的相对定位精度可达0.01ppm，垂直方向的精度可达厘米量级。GPS与甚长基线干涉测量(VLBI)、卫星激光测距(SLR)等技术一起进行地球自转的监测研究，其效果良好。

**局限性和测量误差** GPS技术的发展和已应用已成为当今最佳的空间定位、导航和测量系统。它的局限性主要有接收卫星信号有时困难、信号的不完整性、测量精度的限制三个问题：

(1) 接收卫星信号有时困难。卫星信号传播到接收机天线途中不能穿过水、土、墙等障碍物。因此，GPS不能用于潜艇的导航、矿井中和隧道内的定位和测量。地面的构筑物、树木等遮挡物也会影响GPS卫星的“可见性”，使信号接收困难。

(2) 信号的不完整性，亦即卫星位置错误或接收信号不正确导致计算结果错误。对此，目前主要有两种办

法检测：①将一台接收机安置在已知点上相对定位测量，精确的已知点坐标可以对不规则或有粗差的信号进行检测；②接收机自动完整性探测(RAIM)，即接收机对四颗以上的卫星观测，利用多余观测数据检验不正常的接收信号。

(3) 测量精度的限制。影响测量精度的误差因素很多，减除这些误差影响可以有两种办法：一是利用更完善的数学模型来表述各项误差对观测量的影响，编制微处理机数据处理程序，提高结果的精度；二是改进测量方法，减小观测误差。

**测量误差** 主要测量误差来源包括卫星误差、信号传播误差、接收机误差和卫星的几何分布状态。

(1) 卫星误差。主要包括两项：第一项称为卫星星历误差或轨道误差。由于跟踪站的分布及其站址误差、观测卫星数据的误差，使计算出的卫星位置难免存在误差，这种误差称为卫星星历误差；第二项称为卫星钟差。

(2) 信号传播误差。卫星信号穿过大气层到达接收机天线过程中，大气层改变信号的传播速度而产生的误差。这种误差可分为电离层延迟误差、对流层延迟误差和多路径传播误差三部分。通过双频观测可求取延迟误差改正。一般估计，经改正后的剩余电离层延迟误差为几个ppm。对流层延迟误差通常可以分为两部分，即干大气分量和湿大气分量。干大气分量一般占80%以上，使用一定的模型能够以2%~5%的精度求得这部分改正，湿大气分量的比重虽较小，但因传播路径上的湿度不易准确求得，故难以准确地得到它的改正值，而成为对流层延迟误差的主要来源。一般估计，对流层延迟误差改正的精度为分米量级，且卫星仰角低时精度降低。多路径传播误差的影响较难估计和处理。减小其影响的办法，一是观测时仔细选择安置天线的位置和认真安置天线；另一是选择性能优良的天线。

(3) 接收机误差。这项误差包括接收机的钟差和测量噪声。接收机钟差比卫星钟差大得多，通常将它和接收机位置的三维坐标一样作为未知数来解算。这也是需要观测至少4颗卫星信号来精确确定接收机三维坐标的缘故。测量噪声的大小与观测方案有关。粗码(C/A码)、精码(P码)和载波相位测量的定位精度分别为米、分米和毫米量级。

(4) 卫星的几何分布状态。卫星的几何分布状况对定位精度影响很大。卫星在空中均匀分布时精度高，集中在空中某一方分布时精度低。卫星几何分布的影响是以几何精度降低(Geometric Dilution of Precision, GDOP)因子来定量表示的。该因子在很大程度上随着接收卫星的个数而变化。如果空中可供观测的卫星多



于4颗,接收机内的一种计算程序可通过计算GDOP值最小的办法,来选择空间图形最好的四颗卫星进行观测,以提高测量精度。现在GPS卫星发射计划已基本完成,GDOP值通常为3~5。将观测误差乘以GDOP因子就能估算出GPS的测量精度。此外,已知参考点的精度,观测数据后处理技术对成果的精度都有影响。厂商通常不提供接收机的鉴定报告,用户在测量之前最好利用短基线或试验网对接收机的性能和精度进行鉴定。在相位观测中模糊参数未知整周数的确定,周跳的实时诊断、修正问题,既是接收机研制又是观测技术和数据处理技术中重要的研究问题。

展望 20世纪90年代和21世纪初,GPS将与其他系统结合使用,开辟更加广阔的应用领域和前景。常规大地测量将逐渐被淘汰,GPS超级网是控制网最可能的形式。GPS与前苏联的ГЛОНАСС两个系统可能统一使用。部分超级网站将与VLBI/SLR站重合,站间相对位置精度优于0.1ppm。或者GPS与其它测量手段,如电子速测仪联合作业,用户只需用一台、甚至是单频接收机即可进行1ppm精度的例行作业。

GPS与惯性测量系统(Inertial Surveying System,

ISS)结合将是解决GPS相位测量数据中周跳问题的一种办法,可以用GPS位置信息取代ISS中的零速修正,或将GPS动态定位的速度信息输入卡尔曼滤波器,以使精度显著提高。这种组合系统将能以整体大地测量模型进行数据处理,同时确定三维坐标和大地水准面。

在工程测量和地形测图方面,GPS将成为建立工程控制网的主要手段。快速静态定位将广泛应用于各类精密工程测量、细部测量、边界测量,将在一定程度上取代水准测量,成为地面或构筑物沉陷、变形实时或近实时监测的主要手段,还将取代无线电定位系统,用于近海资源的勘探和开发。

在摄影测量和遥感方面,将利用GPS对航摄飞机进行空中导航,动态确定曝光瞬间摄站位置,实现无地面控制点的空中三角测量;与激光仪、多光谱扫描仪、电磁仪等非摄影传感器组合,可用于航空遥感水深测量。GPS将与遥感、地理信息系统有机地结合,构成综合测绘信息系统,促使测绘学科在更高层次上重新综合和细分。

(郭达志)

## S

sanbian celiang

**三边测量** (trilateration survey) 在地面上选定一系列点构成连续的三角形, 采取测边方式推算各三角形顶点平面位置的方法。它是建立矿区平面控制网的方法之一。

在三边测量中, 由一系列相互连接的三角形所构成的网形称为三边网。三边网要求测量网中的所有边长, 利用余弦公式计算各三角形内角, 从起始点和已知方位角的边出发推算各三角形顶点的平面坐标。

由于用三边测量方法布设锁网不进行角度测量, 推算方位角的误差易于累积, 因此在网中需要有一定密度的已知方位边, 以控制三边网的横向误差。矿区控制网一般是以国家大地网为基础建立, 网中一般有一定数量的已知方位边, 如密度不够则需测设起始方位边。

矿区三边网按控制次序和施测精度分为三、四等三边网和一、二级小三边网。根据测区控制面积、加密点的数量以及对加密点的精度要求, 可采用插网(三边网)、三边锁、插点等布设方案。其施测规格和精度要求在有关规程中都作了具体规定。在三角测量中, 可以用三角形内角之和等于其理论值  $180^\circ$  这一条件作为三角测量质量的检核, 而三边测量则无此检核条件。为保证三边网推算方位角的精度, 要求: ①选点时要重视图形结构, 以边长接近该等级平均边长的正三角形为理想图形。各三边形的内角不大于  $100^\circ$  和不少于  $30^\circ$ , 受地形限制时个别角度也不应小于  $25^\circ$ 。②在适当图形中

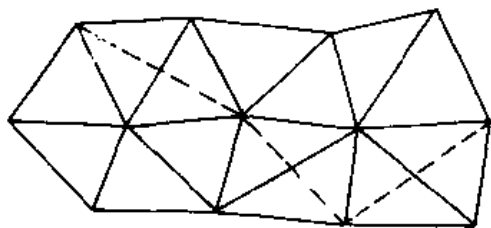


图1 三边网中增测对角线边

增测对角线, 以加强三边网的图形结构和增加检核。图1中虚线为增测的对角线边。③对于三、四等三边网, 宜在一些三角形中按相应等级的三角测量角度观测精度要求观测一个较大的角度作为检核。④以测边方式进行插点交会时, 至少要有一条多余观测边。

外业 主要包括实地选点、距离测量和成果验算。实地选点和埋石的各项技术要求, 基本与三角测量相同。由于三边测量一般只测边不测角, 可根据需要只建部分觐标。

矿区三边网的边长一般用光电测距仪测定。为保证边长成果精度, 在作业前要对测距仪及其附件进行检验。

三边网的边长是推算三角形顶点水平位置的基本元素, 是三边测量的主要环节。要在较好的气象条件下进行边长测量(见光电测距)。

外业成果检核及限差

(1) 计算距离测量单位权中误差:

$$m = \pm \sqrt{\frac{[pdd]}{2n}}$$

$$p_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$$

$$\sigma_i = \sqrt{a^2 + (bD)^2}$$

式中  $m$  为距离测量单位权中误差;  $p_i$  为先验权;  $\sigma_i$  为先验中误差;  $n$  为测距边数;  $d$  为往返测距的差数;  $a$  为测距仪标称精度中的固定误差, 以 mm 为单位;  $b$  为测距仪标称精度中的比例误差系数, 以 mm/km 为单位;  $D$  为测距边长, 以 km 为单位。首先按测距仪的标称精度计算先验中误差  $\sigma_i$ , 然后计算先验权  $p_i$ , 最后计算距离测量单位权中误差  $m$ 。

(2) 观测角与计算角之差的检核。在测边网的三角形中, 如观测了其中的一些角度, 其观测值与用边长按余弦公式计算的角度值之差的限差  $m_{\alpha}''$ , 可根据各边平均测距中误差按下式计算:

$$m_{\alpha}'' = \pm 2 \sqrt{\left(\frac{m_s}{h_c} \rho''\right)^2 (\cos 2\alpha + \cos 2\beta + 1) + m_\beta^2}$$



式中  $m_s$  为观测边的平均测距中误差;  $h_c$  为观测角顶点至对边的垂线长度 (图 2);  $\alpha$ 、 $\beta$  为除观测角  $\gamma$  外的另两个角度;  $m_\beta$  为相应等级三角网规定的测角中误差。

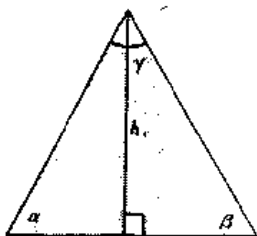


图 2  $m_s$  的计算

(3) 三边网条件不符值的限差计算。在独立三边网中, 每一个中点多边形、大地四边形或扇形都存在一个几何条件, 一般采用以圆周条件和组合条件 (对于大地四边形、扇形) 的形式来建立条件方程式。条件方程式不符值的限差按下式计算:

$$w_{\text{限}} = \pm 2m_s \sqrt{[aa]}$$

式中  $m_s$  为观测边的平均测距中误差;  $a$  为圆周角或组合角条件方程式的系数 (见三边网条件平差)。

(李雙望)

sanbianwang jianjie pingcha

**三边网间接平差** (parameter adjustment of trilateration network) 选定三边网中观测量的函数为未知数, 利用它们之间的函数关系, 根据最小二乘准则, 应用求自由极值的方法, 解算得未知数的最或然值, 进而求得各观测量的最或然值所进行的计算工作。

三边网间接平差的主要任务是列出以未知数 (一般是待定点的坐标) 为边长观测值函数的误差方程, 再组成法方程并进行解算, 直接得出各三边网节点的最或然坐标值, 进而求得边长观测值的平差值。

对具有两个或两个以上已知点的三边网, 必要观测数  $t$  等于未知点个数的两倍; 少于两个已知点的三边网, 必要观测数为三边网中点的个数的两倍减去 3。还要对未知数进行选择, 所选定的一组未知数之间不应存在任何确定的函数关系, 然后再列出误差方程。

观测边长误差方程列立 由边长观测值的改正数与纵横坐标近似值改正数之间的函数式, 可列出误差方程为:

$$v_{s_{ij}} = -\cos \alpha_{ij}^0 \delta x_i - \sin \alpha_{ij}^0 \delta y_i$$

$$+ \cos \alpha_{ij}^0 \delta x_j + \sin \alpha_{ij}^0 \delta y_j + l_{ij} \quad (1)$$

$$l_{ij} = S_{ij}^0 - S_{ij}$$

式中  $\alpha_{ij}^0$  为由近似坐标算得的近似坐标方位角;  $S_{ij}^0$  为由近似坐标算得的近似边长;  $S_{ij}$  为边长观测值。

上列误差方程可写成一般形式为:

$$\left. \begin{aligned} v_{s_1} &= a_1 x_1 + b_1 x_2 + \cdots + t_1 x_1 + l_1 \\ v_{s_2} &= a_2 x_1 + b_2 x_2 + \cdots + t_2 x_1 + l_2 \\ &\cdots \cdots \cdots \\ v_{s_n} &= a_n x_1 + b_n x_2 + \cdots + t_n x_1 + l_2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中  $a$ 、 $b$  和  $t$  为误差方程中各相应的未知数前的已知系数;  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $\cdots$  代表上列误差方程中  $\delta x_1$ 、 $\delta y_1$ 、 $\cdots$ 。

上列误差方程可用矩阵形式表示为:

$$V = BX + l \quad (3)$$

$$V = (v_{s_1}, v_{s_2}, \cdots, v_{s_n})^T$$

$$X = (x_1, x_2, \cdots, x_t)^T$$

$$B = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & \cdots & t_1 \\ a_2 & b_2 & \cdots & t_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_n & b_n & \cdots & t_n \end{bmatrix}$$

式中  $t$  为未知数的个数;  $n$  为观测值的个数。

法方程解算 由误差方程式 (2), 根据最小二乘准则和求函数自由极值的理论, 可得求解  $V$  和  $X$  的基础方程:

$$B^T P V = 0$$

将误差方程式 (2) 代入基础方程得法方程为:

$$B^T P B X + B^T P l = 0 \quad (4)$$

式中  $P$  是观测值的权阵。令  $B^T P B = N$ ,  $B^T P l = U$ , 则

$$NX + U = 0$$

可求得  $N$  的逆阵  $N^{-1}$ , 由此得未知数的唯一解:

$$X = -N^{-1}U \quad (5)$$

再将  $X$  代入误差方程式 (3), 可计算得观测值的改正数  $v_i$  与相应的观测值  $L_i$  求和, 即得观测值的平差值。

精度评定

(1) 单位权中误差, 即测边中误差计算式:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{n-t}}$$

在解出未知数  $\delta x$  等之后, 可求得  $v_i$  值, 然后计算出:

$$[pvv] = p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + \cdots + p_n v_n^2$$

(2) 平差后待定点坐标中误差计算。待定点坐标的权逆阵为  $Q_{xx} = N^{-1}$ , 其主对角线上的元素就是各个待定点坐标未知数的权倒数, 即  $1/p_k = Q_{kk}$ 。

故待定点坐标中误差为:

$$m_{x_j} = m_0 \sqrt{Q_{jj}}$$

相应的点位中误差应按该点的纵、横坐标中误差的平方和的开方求得。

(陶华学)

sanbianwang tiaojian pingcha

### 三边网条件平差 (condition adjustment of

trilateration network) 根据各观测边长所构成的几何图形条件以及起始数据间需强制附和的控制条件,按最小二乘准则,应用拉格朗日求条件极值的方法求得各观测值的最或然值所进行的计算工作。

三边网按条件平差主要是准确列出网中以观测边长及其改正数表示的所有独立的条件方程,再组成法方程,求得各观测边长的改正数。通过平差达到从任一已知点和已知方位边出发,用平差后边长(即最或然值)推算至某一待定点的坐标(或某一边的方位角)均相等,从而消除了由多余观测所产生的矛盾。

三边网以有无多余起算数据分为独立三边网和非独立三边网。独立三边网主要是由测量了各边长的三边形、大地四边形、中点多边形所组成。在三边形中,没有多余观测,不存在图形条件。在大地四边形(图1a)中,由于有一条多余观测边,就存在一个图形条件(亦称等角条件或复杂图形条件),即由平差后边长计算得的任一点上两个小角值之和应等于该点上的大角值(如 $\angle BAC + \angle CAD = \angle BAD$ )。对于扇形(图1b),在A点上同理存在一个图形条件。在中点多边形(图1c)中,也只有一条多余观测边,存在一个图形条件,即由平差后边长算得的中心点上各角值之和应等于 $360^\circ$ 。在非独立三边网中,除具有独立三边网中的图形条件外,依网中多余起算数据的不同,存在着控制条件,包括:坐标方位角条件和纵、横坐标条件,即按平差后边长计算,除满足各图形条件外,各起算数据应保持原值,从而消除由于多余观测引起的矛盾。

对独立三边网或起算数据不多的非独立三边网可用条件平差法。

三边网中多余观测边数较少,条件方程个数 $r = n - 2p$ ,式中 $n$ 为观测边数; $p$ 为特定点个数。当待定点较多时,三边网用条件平差计算工作量较小。

条件方程列立 常采用角度法,即从列出以角度改正数表示的条件方程出发,利用边、角改正数关系,再列出以边长改正数表示的各种条件方程。图2所示三角形中,边、角关系可以余弦定理表示,即

$$\cos A = \frac{S_b^2 + S_c^2 - S_a^2}{2S_b S_c}$$

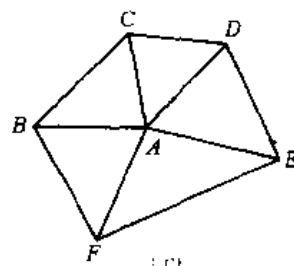
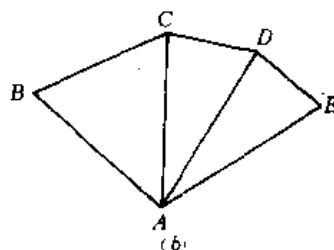
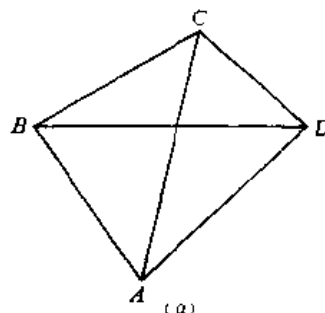


图1 三边网基本图形

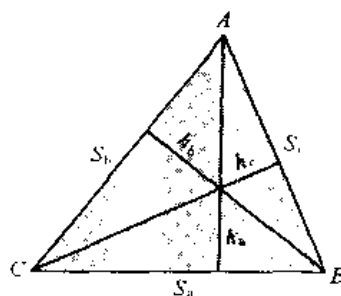


图2 三角形边角关系

$$\cos B = \frac{S_a^2 + S_c^2 - S_b^2}{2S_a S_c}$$

$$\cos C = \frac{S_a^2 + S_b^2 - S_c^2}{2S_a S_b}$$

对上列各式全微分,借助正弦定理,并以改正数 $v_A, v_{S_a}, v_{S_b}, v_{S_c}, \dots$ 代替微分 $dA, dS_a, dB, \dots$ ,得边、角改正数关系式为:

$$v_A = \frac{\rho''}{h_a} (v_{S_a} - \cos C v_{S_b} - \cos B v_{S_c})$$

$$v_B = \frac{\rho''}{h_b} (v_{S_b} - \cos A v_{S_c} - \cos C v_{S_a})$$

$$v_C = \frac{\rho''}{h_c} (v_{S_c} - \cos A v_{S_b} - \cos B v_{S_a})$$

大地四边形图形条件方程 如图3所示, 设按观测边长计算得的角值为  $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ , 按平差后边长计算得的角值为  $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3$ , 则

$$\hat{\beta}_1 + \hat{\beta}_2 - \hat{\beta}_3 = 0$$

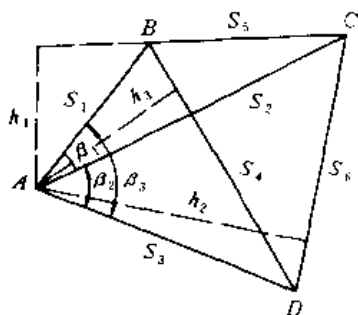


图3 大地四边形

以改正数表示为:

$$v_{\beta_1} + v_{\beta_2} - v_{\beta_3} + w = 0$$

$$w = \beta_1 + \beta_2 - \beta_3$$

图3大地四边形的图形条件方程为:

$$\begin{aligned} & \rho'' \left[ \frac{\cos \angle ABD}{h_3} - \frac{\cos \angle ABC}{h_1} \right] v_{S_1} \\ & + \rho'' \left[ \frac{\cos \angle ACB}{h_1} + \frac{\cos \angle ACD}{h_3} \right] v_{S_2} \\ & + \rho'' \left[ \frac{\cos \angle ADB}{h_3} - \frac{\cos \angle ADC}{h_1} \right] v_{S_3} \\ & - \frac{\rho''}{h_3} v_{S_4} + \frac{\rho''}{h_1} v_{S_5} + \frac{\rho''}{h_2} v_{S_6} + w = 0 \end{aligned}$$

式中  $h_1, h_2$  及  $h_3$  分别是  $A$  点向  $\beta_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) 角对边所作的高。

中点多边形图形条件方程 如图4所示, 以角度

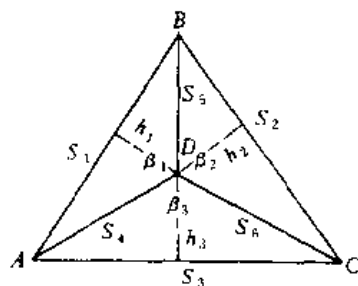


图4 中点多边形

改正数表示的图形条件为:

$$v_{\beta_1} + v_{\beta_2} + v_{\beta_3} + w = 0$$

$$w = \beta_1 + \beta_2 + \beta_3 - 360^\circ$$

其图形条件方程为:

$$\begin{aligned} & \frac{\rho''}{h_1} v_{S_1} + \frac{\rho''}{h_2} v_{S_2} + \frac{\rho''}{h_3} v_{S_3} \\ & - \rho'' \left[ \frac{\cos \angle DAB}{h_1} + \frac{\cos \angle DAC}{h_3} \right] v_{S_4} \\ & - \rho'' \left[ \frac{\cos \angle DBA}{h_1} + \frac{\cos \angle DBC}{h_2} \right] v_{S_5} \\ & - \rho'' \left[ \frac{\cos \angle DCB}{h_2} + \frac{\cos \angle DCA}{h_3} \right] v_{S_6} + w = 0 \end{aligned}$$

坐标方位角条件方程 图5中  $AB, CD$  边的坐标方位角为已知, 由边长平差估算得的间隔角应满足:

$$\alpha_{AB} + [c]_E - [c]_F + n180^\circ - \alpha_{CD} = 0$$

以角度改正数表示的坐标方位角条件方程为:

$$\begin{aligned} & -v_{c_1} + v_{c_2} - v_{c_3} + \dots \pm v_{c_n} + w = 0 \\ & w = \alpha_{AB} - c_1 + c_2 - c_3 + \dots \pm c_n \\ & + n180^\circ - \alpha_{CD} \end{aligned}$$

将边角改正数关系式代入上式, 可得坐标方位角条件方程为:

$$\begin{aligned} & \left[ \pm \frac{\rho''}{h_i} v_{S_i} \right]_1^n + \left[ \pm \frac{\rho''}{S_{(i-1)}} (\text{ctg} \alpha_{(i-1)} \right. \\ & \left. - \text{ctg} \beta_i) v_{S_{(i+1)}} \right]_1^{n-1} + w = 0 \end{aligned}$$

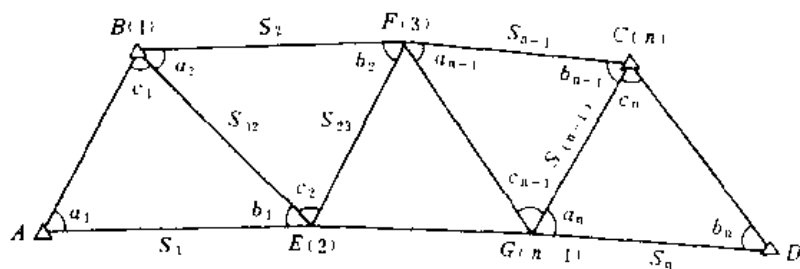


图5 三边锁

式中“±”号按左正、右负规则确定。 $w_0$ 以“( )”为单位,边长以 m 为单位,边改正数以 cm 为单位。

纵横坐标条件方程 图 5 所示三边锁,  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  点的坐标值为已知。由  $B$  点出发推算  $C$  点坐标, 则以坐标增量平差值  $\Delta\hat{x}$ 、 $\Delta\hat{y}$  表示的纵横坐标条件方程为:

$$x_B + \Delta \dot{x}_{12} + \Delta \dot{x}_{23} + \dots + \Delta \dot{x}_{(n-1)n} - x_C = 0$$

$$y_H + \Delta \hat{y}_{12} + \Delta \hat{y}_{23} + \dots + \Delta \hat{y}_{(n-1)n} - y_C = 0$$

式中  $x_B, y_B, x_C, y_C$  为已知点  $B, C$  的坐标值。 $\Delta x, \Delta y$  为用边长观测值算出的坐标增量, 且其与  $\Delta \hat{x}, \Delta \hat{y}$  之差为  $d\Delta x, d\Delta y$ , 此时有:

$$\Delta \hat{x}_{j(i+1)} = \Delta x_{j(i+1)} + d\Delta x_{j(i+1)}$$

$$\Delta \dot{\mathbf{y}}_{i(i+1)} = \Delta \mathbf{y}_{i(i+1)} + d\Delta \mathbf{y}_{i(i+1)}$$

经线性化并将边角改正数关系式代入得纵横坐标条件方程为:

$$\begin{aligned} & \left[ \mp \frac{y_n - y_i}{h_i} v_{S_i} \right]_1^{n-1} + \left[ \left( \pm \frac{y_n - y_i}{S_{i(i+1)}} \operatorname{ctg} b_i \right. \right. \\ & \left. \mp \frac{y_n - y_{(i+1)}}{S_{i(i+1)}} \operatorname{ctg} a_{i(i+1)} + \cos a_{i(i+1)} \right) v_{S_{i(i+1)}} \Big]_1^{n-1} \\ & + w_n = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \left[ \pm \frac{x_n - x_i}{h_i} v_{S_i} \right]_1^{n-1} + \left[ \left( \mp \frac{x_n - x_i}{S_{i(i+1)}} \operatorname{ctg} b_i \right. \right. \\ & \left. \left. \pm \frac{x_n - x_{i+1}}{S_{i(i+1)}} \operatorname{ctg} a_{i+1} + \sin \alpha_{i(i+1)} \right) v_{S_{i(i+1)}} \right]_1^{n-1} \\ & + w_v = 0 \end{aligned}$$

式中正负号的确定方法是：当  $\alpha_i$  角在推算路线左边时，取上排符合；当  $\alpha_i$  角在推算路线右边时，取下排符合。计算时， $x_i$ 、 $y_i$ 、 $h_i$  以 km 为单位， $v_{s_i}$ 、 $w$  以 dm 为单位。

上列各条件方程可写成一般形式为:

[illegible]

式中  $a_i$ 、 $b_i$ 、 $r_i$  为第  $a$  个、第  $b$  个和第  $r$  个条件方程  $i$  号边的系数;  $v_{s_i}$  为  $i$  号边的边长改正数;  $w_a$ 、 $w_b$  和  $w_r$  为第  $a$  个、第  $b$  个和第  $r$  个条件方程的不符值。

条件方程式 (1) 可用矩阵形式表示,

$$AV + W = 0 \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & \cdots & a_n \\ b_1 & b_2 & \cdots & b_n \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_1 & r_2 & \cdots & r_n \end{bmatrix}$$

$$V = (v_{s_1}, v_{s_2}, \dots, v_{s_n})^T$$

$$W = (w_a, w_b, \dots, w_r)^T$$

大地四边形、中点多边形的条件方程也可用面积法等其他方法列出。

法方程组成及解算 由条件方程式(2)根据最小二乘准则和求“条件极值”的方法,得

$$PV - A^T K = 0$$

用  $P^{-1}$  左乘上式得:

$$V = P^{-1}A^T K \quad (3)$$

$$K = (k_a, k_b, \dots)^T$$

$$P = \begin{bmatrix} p_1 & & & \\ & p_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & p_r \end{bmatrix}$$

式中  $K$  为连系数阵;  $p_i$  ( $i=1, 2, \dots, n$ ) 为边长  $i$  观测值的权。式 (3) 为改正值方程。同下级网的边长相差悬殊时, 可按等精度观测进行平差; 边长相差悬殊时, 可按测距仪的标称精度求出每一条边的中误差  $m_s$ , 再计算各边长的权  $p_i = m_0^2 / m_{s_i}^2$ , 式中  $m_0$  为单位权中误差。

为求得联系数  $K$  和改正值  $V$ ，组成法方程：

$$AP^{-1}A^TK + W = 0$$

令  $N = AP^{-1}A^T$ , 则有:

$$NK + W = O$$

$$K = -N^{-1}W$$

解得  $K$  便可由式 (3) 求得改正值  $V$ , 从而求得边长观测值的平差值。

### 精度评定

单位权中误差

$$m_0 = \sqrt{\frac{[pvr]}{r}}$$

$$[p_{vv}] = W^T N^{-1} W$$

式中  $v$  为边长观测值的改正数;  $r$  为条件方程式个数。

平差后边长中误差计算 先列出该边边长的权函数式:

$$v_f = v_{\varepsilon}$$

此时,  $f_1=1$ , 其余  $f$  均为零, 随着法方程一同约化, 便可求得权倒数  $1/p_{s_1} = [f_s f_s \cdot r]$ 。平差后边长中误差为:

$$m_{S_1} = m_0 \sqrt{\frac{1}{p_{S_1}}}$$

式中,  $r$  为条件方程的个数。

平差后坐标方位角中误差计算 先列出该边坐标方位角的权函数式。权函数式的组成与坐标方位角条件式的组成基本一样(见三角网条件平差)。如欲评定图5中EF边的坐标方位角的精度,其坐标方位角为:



$$\alpha_{EF} = \alpha_{AB} + 180^\circ - c_1 + 180^\circ + c_2$$

化为权函数式为:

$$v_{EF} = -v_{c_1} + v_{c_2}$$

将角度改正数  $v_c$  化为观测边的改正数  $v_s$ , 可直接写出:

$$v_{c_1} = \frac{\rho''}{h_1} v_{s_1} - \frac{\rho''}{S_{12}} \text{ctg} b_1 v_{s_{12}}$$

$$v_{c_2} = \frac{\rho''}{h_2} v_{s_2} - \frac{\rho''}{S_{12}} \text{ctg} a_2 v_{s_{12}} - \frac{\rho''}{S_{23}} \text{ctg} b_2 v_{s_{23}}$$

$$v_{EF} = -\frac{\rho''}{h_1} v_{s_1} + \frac{\rho''}{h_2} v_{s_2} + \frac{\rho''}{S_{12}} (\text{ctg} b_1 - \text{ctg} a_2) v_{s_{12}} - \frac{\rho''}{S_{23}} \text{ctg} b_2 v_{s_{23}}$$

权函数式列出后, 可求出其权倒数:

$$\frac{1}{p_a} = [f_a f_a \cdot r]$$

平差后坐标方位角中误差为:

$$m_a = \pm m_0 \sqrt{\frac{1}{p_a}}$$

点位中误差计算 评定网中  $j$  点坐标的精度, 应先列出该点坐标的权函数式。权函数式的组成与坐标条件式的组成一样, 即

$$v_{F_{x_j}} = \left[ \mp \frac{y_i - y_{(i-1)}}{h_i} v_{s_i} \right]_1^{j-1} + \left[ \left( \pm \frac{y_i - y_{(i+1)}}{S_{i(i+1)}} \text{ctg} b_i \mp \frac{y_i - y_{(i-1)}}{S_{i(i-1)}} \text{ctg} a_{(i+1)} + \cos a_{(i-1)} \right) v_{s_{i(i+1)}} \right]_1^{j-1}$$

$$v_{F_{y_j}} = \left[ \pm \frac{x_i - x_{(i-1)}}{h_i} v_{s_i} \right]_1^{j-1} + \left[ \left( + \frac{x_i - x_{(i+1)}}{S_{i(i+1)}} \text{ctg} b_i \pm \frac{x_i - x_{(i-1)}}{S_{i(i-1)}} \text{ctg} a_{(i+1)} + \sin a_{(i-1)} \right) v_{s_{i(i+1)}} \right]_1^{j-1}$$

按下式计算权倒数:

$$\frac{1}{p_{x_j}} = [f_{x_j} f_{x_j} \cdot r]$$

$$\frac{1}{p_{y_j}} = [f_{y_j} f_{y_j} \cdot r]$$

则  $j$  点点位中误差为:

$$\left. \begin{aligned} m_{x_j} &= m_0 \sqrt{\frac{1}{p_{x_j}}} \\ m_{y_j} &= m_0 \sqrt{\frac{1}{p_{y_j}}} \\ m_j &= \pm m_{x_j}^2 + m_{y_j}^2 \end{aligned} \right\}$$

(陶华学)

sanjiao celiang

**三角测量** (triangulation) 在地面上选定一系列点构成连续的三角形, 采取测角方式推算各三角

形顶点平面位置的方法。它是建立矿区平面控制网的基本方法。

在三角测量中, 测定了水平位置的三角形顶点称为三角点。由一系列相互连接的三角形所构成的网形称为三角网。利用在三角点上观测的角度值, 从起始点和起始边出发, 按边角关系可推算得各三角形顶点的平面坐标。

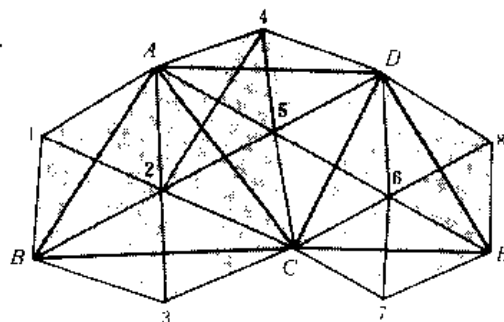
**三角网布设** 中国国家三角测量按控制次序和施测精度分为一、二、三、四等。矿区三角测量主要为三、四等和小三角测量。

三、四等三角测量为二等三角网的进一步加密。以二等三角网为基础首先加密三等三角网, 然后再加密四等三角网, 亦可在二等三角网的基础上越级加密四等三角网。

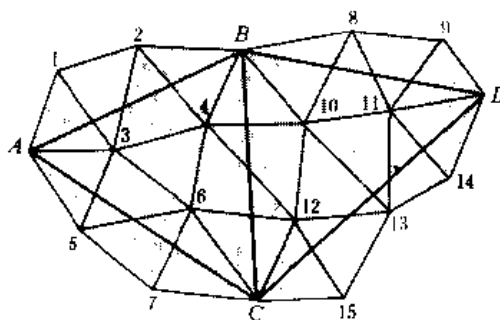
小三角测量为三、四等三角网的进一步加密。当三、四等点的密度不能满足工程测量需要时, 以高等级的三角点为基础布设小三角网。面积较小的矿叉, 可布设小三角网作为首级控制。

矿区三角网可根据测区控制面积、加密点的数量以及对加密点的精度要求, 采用插网、线形锁和线形网、插点等布设方案。

**插网** 在高等级三角网内, 以高等级三角点为基础一次布设较低等级的三角网。插网有附合网和全面网两种形式。附合网是将插入的低等级点相互连接, 并



(a) 附合网



(b) 全面网

图1 插网

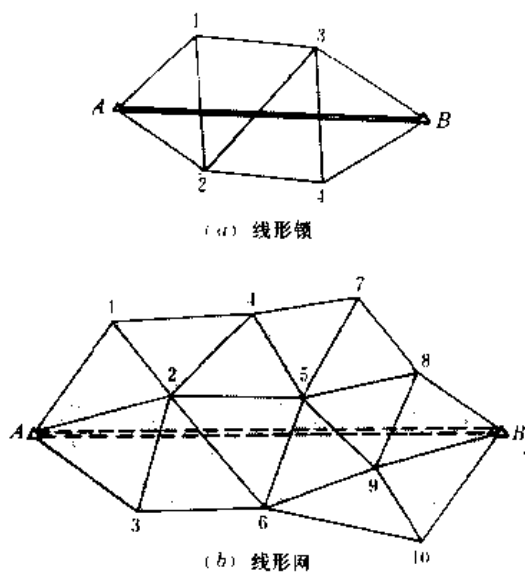


图2 线形锁和线形网

能与高等级网的边构成三角形(图1a)。全面网是插入的所有低等级点不和高等级网的边构成三角形,而是在几个高等级点间用较短的边布设连续的三角网(图1b)。图1a、图1b中用英文字母注明的点为高等级点,阿拉伯数字注明的点为低等级点。

插网的优点是布设灵活,能适应不同的地区特点和密度要求,边的长短可随需要而变化。低等级点与高等级点之间、低等级点与低等级点之间均有可靠的联系,整网的点位精度比较均匀。

**线形锁和线形网** 线形锁为依附于两个高等级三角点之间的单三角锁,以布设成近于直伸形为宜(图2a)。其特点是布设灵活,但精度稍差。线形网是依附于两个高等级点的多重锁或多重锁(图2b)。与线形锁相比,其控制面积大,精度也较高。

**插点** 在高等级三角网内,以几个高等级点为基础一次插入一个或几个低等级点。分为图形插点和交会插点两种形式。图形插点要求在高等级点与插点上都要进行观测,所有观测方向构成一定的独立图形。常用的一些图形称为典型图形(图3)。交会插点(交会定点)是多方向联合定点,所插入的点不一定要与高等级点构成闭合图形。在两个以上已知点(高等级点)上观测与待定点(低等级点)构成的水平角,进而求出待定点平面位置,称为前方交会法;在待定点上观测与3个以上已知点构成的水平角,进而求出待定点平面位置的,称为后方交会法。

为了保证推算边长的精度,要求三角网(锁)中三角形的每个角度一般不小于 $30^\circ$ ,受地形限制或避免建

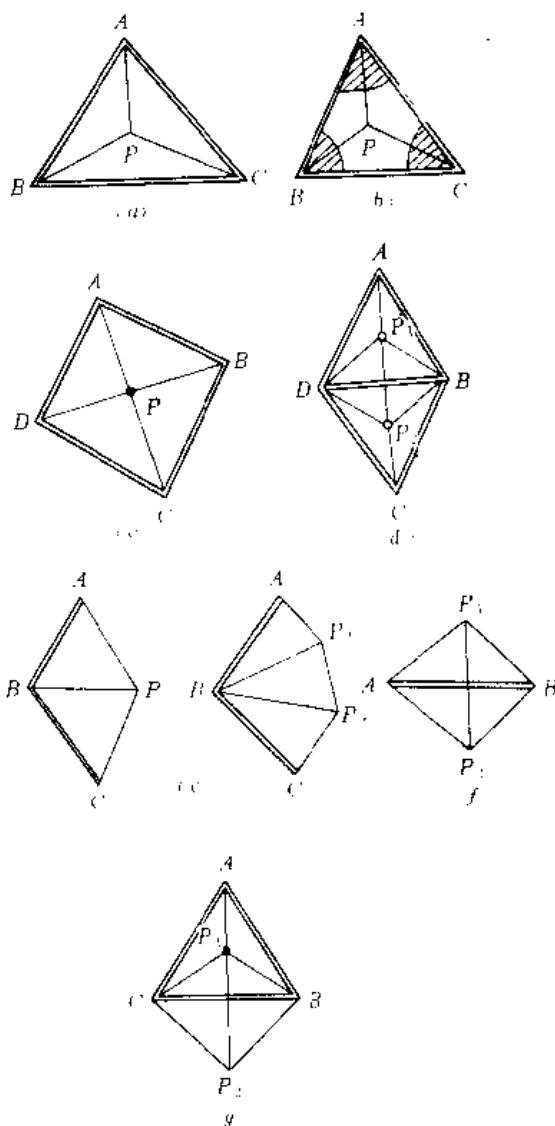


图3 图形插点

造高标时,允许小至 $25^\circ$ 。插点最好位于高等级点构成的三角形中心附近。

为了保证三角网(点)具有足够的精度和密度,有关测量规范、规程对各等级三角网的边长、测角精度、起算元素精度、最弱边精度等项技术要求都作了具体规定。

**三角测量外业** 用三角测量方法为测定三角点平面位置在野外进行的各项工作,主要包括实地选点、造标埋石、水平角观测、归心元素测定、测站平差和三角测量概算以及观测成果验算。

**实地选点** 根据技术设计确定的布网方案并结合测区实际情况,在实地选定最适宜的点位。三角点点位

应满足下列要求：①点位选在视野辽阔、易于扩展、土质坚实的地方，还须考虑埋石后能够长久保存，便于造标和观测；②点位离开公路、铁路和其他建筑物一定距离；③为保证观测目标的成像质量和减少大气折光对观测角的影响，视线应旁离障碍物一定距离；④所选点位构成的三角形的角度、边长、图形结构符合规范要求。

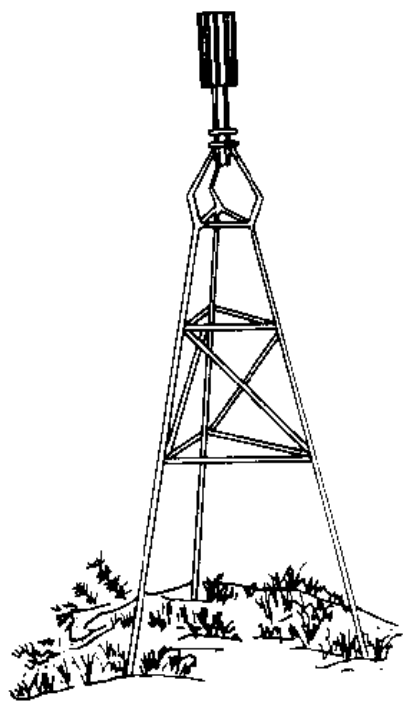
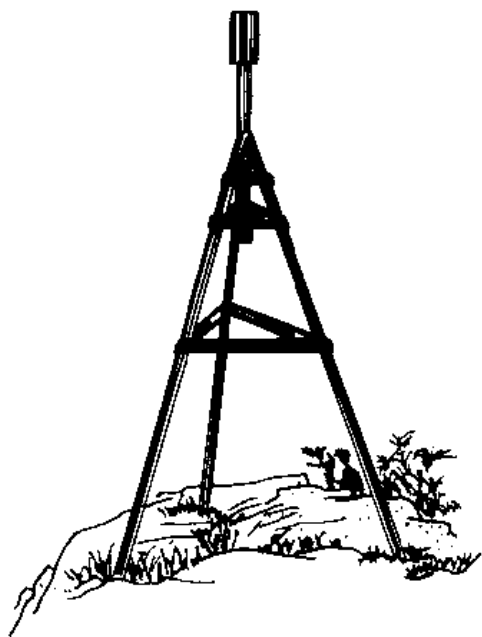


图4 寻常标

造标和埋石 为了保证观测精度和三角点之间通视良好便于利用，矿区三、四等三角点均需建造觇标。为了使三角点能够长期保存，各等级点均应埋设标石。

觇标是三角点的地面标志。其作用是供观测照准和升高仪器位置。觇标一般采用金属材料、木材或钢筋混凝土建造。觇标的类型主要有：①寻常标：没有内架的三脚或四脚觇标（图4）。②双锥标：有内外架的觇标，用钢材制作的常称其为钢标。③墩标：用混凝土、天然石、砖块或木材筑成的仪器墩并在其上加设圆筒的觇标。

标石是三角点点位的永久标志。根据测区的地质条件和三角点的等级，选定标石的类型。矿区三、四等三角点标石一般由一盘石和一柱石组成（图5），通常用混凝土灌制。加设盘石的目的是为了柱石一旦遭受破坏，可利用盘石恢复柱石。柱石和盘石顶面中央均嵌入一个瓷质或金属标志。标志上的十字中心为三角点的实际点位。上下标志应位于同一铅垂线上。三、四等三角点同时作为矿区高程控制点时，柱石的埋设深度应保证免受冻结的影响。小三角点可只埋设柱石。

水平角观测 三角测量中各三角形顶角的测量工作。水平角是推算矿区平面控制点平面位置的基本元素，其质量直接影响点位精度，是三角测量中的主要环节。

三角点水平角用经纬仪观测。为确保观测成果质量，用于三角测量的经纬仪必须定期进行检验（见经纬仪）。

矿区三角网的水平角观测，采用方向观测法（见水

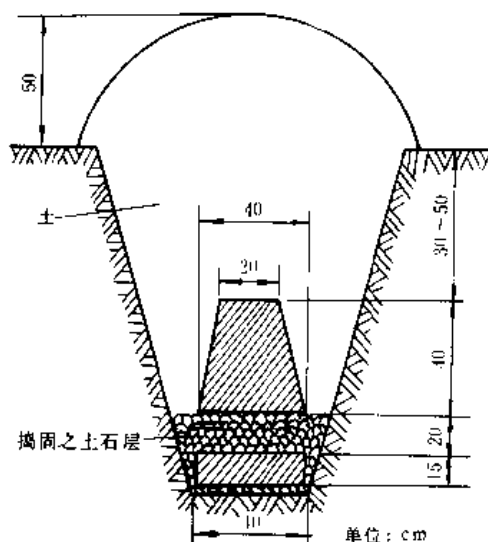


图5 三、四等三角点中心标石埋石图

平角测量)。一个点上方向总数超过 6 个时,可考虑分两组观测,每组方向数大致相等,并包括两个共同方向(其中一个最好为共同零方向),以便增加检核和加强两组观测值间的联系。观测方向多于 3 个,在观测过程中某些方向目标暂时不清晰时,可先行放弃,待清晰时按分组观测的要求补测。

在同一个三角点上,进行不同等级的观测或先后进行两次同等级观测时,一般要同时观测两个高等方向或两个已有(知)方向,称为联测。联测两个方向的夹角化至同一中心后,两观测成果之差应不超过  $\pm 2\sqrt{m_1^2 + m_2^2}$ , 式中的  $m_1$ 、 $m_2$  分别为两次观测时的设计测角中误差。

按方向观测法观测水平角时,测站上所能检查的限差称为测站限差。测站限差主要包括:①半测回归零差;②同一测回 2C 互差;③同一方向值各测回互差。为确保观测质量,应按设计要求随时进行检查。

归心元素的测定 测定仪器中心、圆筒(标心柱、回光)中心对标石中心偏离的数据。其偏离的数据称为归心元素。归心元素分为测站点归心元素和照准点归心元素。

(1)测站点归心元素由测站点偏心距  $e_Y$  和测站点偏心角  $\theta_Y$  组成。 $e_Y$  为仪器投影中心至标石投影中心的距离; $\theta_Y$  为以仪器投影中心为角顶,由  $e_Y$  顺时针方向量至零方向线间的角度。

(2)照准点归心元素由照准点偏心距  $e_T$  和照准点偏心角  $\theta_T$  组成。 $e_T$  为圆筒(标心柱、回光)投影中心至标石投影中心的距离; $\theta_T$  为以圆筒投影中心为角顶,由  $e_T$  顺时针方向量至零方向线间的角度。

归心元素的测定,对于偏心距较小的测站点和照准点,一般采用图解法,即在距标石大于一倍半视标高度处的地面上,选择 3 个投影站,标石中心与 3 个投影站连线间的夹角宜近似等于  $120^\circ$ 。在各投影站上将仪器中心和照准圆筒中心投影到处于水平位置的投影纸上,并在其上量取归心元素。对于偏心距较大的测站点,则采用直接法量测,即用钢尺直接丈量偏心距,用经纬仪直接观测偏心角。

测站平差 进行分组观测或联测两个高等方向时,为消除测站观测值间的矛盾所进行的平差,即求出测站各方向观测值的最或然值,并评定其观测精度。

(1)完全方向组的测站平差。在一个测站上,用全圆方向观测法对所需观测方向以相同的测回数进行观测,所有测回观测结果的算术平均值就是每个观测方向的最或然值,即完全方向组的测站平差值。其中误差的计算公式为:

$$\mu = \pm K \frac{\sum |v|}{n}$$

$$K = \frac{1.253}{\sqrt{m(m-1)}}$$

$$M = \pm \frac{\mu}{\sqrt{m}}$$

式中  $\mu$  为一测回观测方向值的中误差; $K$  为系数; $v$  为测站的方向平差值与各测回观测值之差; $n$  为方向数; $m$  为测回数; $M$  为各方向平差值的中误差。

(2)等权分组观测时的两组测站平差。首先对各组本身进行测站平差,求出本组各方向平差值。设两组联测的共同方向为  $i$ 、 $j$ , 第一组联测方向的方向值为  $i'$ 、 $j'$ , 相应的平差改正数为  $v_i'$ 、 $v_j'$ ; 第二组联测方向的方向值为  $i''$ 、 $j''$ , 相应的平差改正数为  $v_i''$ 、 $v_j''$ 。按下式计算平差改正数:

$$v_i' = + \frac{1}{4} w_{1,2}$$

$$v_j' = - \frac{1}{4} w_{1,2}$$

$$v_i'' = - \frac{1}{4} w_{1,2}$$

$$v_j'' = + \frac{1}{4} w_{1,2}$$

式中  $w_{1,2} = (j' - i') - (j'' - i'')$ , 为两组观测联测角的差值(闭合差)。最后对两组观测值分别加以改正,再求出以其中一组或共同的零方向起算的各方向值,即为该站每个观测方向值的最或然值。

(3)联测高等方向的测站平差。在高等级点设站观测低等方向并联测两个高等点方向时,为消除所联测得的高等方向观测值与已知高等方向值之间差异的平差。其平差方法是先对该组观测值进行测站平差,然后使低等方向的方向值强制附合在高等方向的方向值上。平差时,首先求联测角观测值与已知角值之差  $w$ , 然后将联测的方向各改正  $w/2$ , 第一个联测方向改正数为  $w/2$ , 第二个联测方向改正数为  $-w/2$ , 最后对观测方向加以改正,再求出以零方向起算的各方向值,即为该站各方向观测值的最或然值。

(李望望)

sanjiao celiang gaisuan

三角测量概算 (preliminary calculation of triangulation) 对三角测量观测成果进行的化算和验算。它是三角测量外业完成以后平差计算前的一项重要工作。概算的任务是将获得的观测值化算成以标石为中心的高斯投影面上的直线方向值,化算完成后,依控制网的几何条件对观测成果进行全面验算,全



部项目符合设计要求后,化算的成果方可用于平差计算。

概算的内容一般包括:外业资料检查、近似边长和近似坐标计算、归心改正计算、观测值化算、观测成果验算。

**外业资料检查** 对外业观测手簿、归心投影资料和观测记簿进行全面检查,检查其资料是否齐全,计算是否正确,是否严格按设计要求进行作业。

**近似计算** 指三角网中计算各三角形的近似边长和各三角点近似坐标,以便为计算球面角超、测站点和照准点归心改正以及距离改正提供数据。各三角形的近似边长是从一条已知边出发,利用观测的角值按正弦公式逐一推算出的。计算近似坐标有按坐标增量公式推算、按余切公式计算两种方法。

(1) 按坐标增量公式推算。即从已知点起,选择一条通过所有待定点的坐标推算路线,最后闭合至另一个已知点,以资检核。其计算公式为:

$$x_j = x_i + \Delta x_{ij} = x_i + S_{ij} \cos \alpha_{ij}$$

$$y_j = y_i + \Delta y_{ij} = y_i + S_{ij} \sin \alpha_{ij}$$

式中  $x_i, y_i, x_j, y_j$  分别为已知点和待定点的坐标;  $\Delta x_{ij}, \Delta y_{ij}$  为点  $i, j$  的坐标增量;  $S_{ij}, \alpha_{ij}$  为近似边长和近似方位角。

(2) 按余切公式计算(图1)。图中  $A, B$  为已知点;  $P$  为待定点。

$$x_P = \frac{x_A \operatorname{ctg} \beta + x_B \operatorname{ctg} \alpha + y_B - y_A}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}$$

$$y_P = \frac{y_A \operatorname{ctg} \beta + y_B \operatorname{ctg} \alpha + x_A - x_B}{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{ctg} \beta}$$

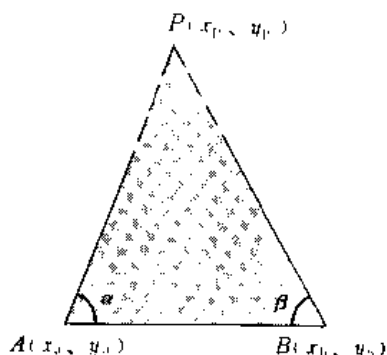


图1 余切公式计算坐标

**归心改正计算** 把测站点仪器中心至照准目标中心的方向值化算成两点标石中心间的方向值。

(1) 测站点归心改正计算公式为:

$$c_i'' = \frac{e_Y}{D_i} \rho'' \sin(M_i - \theta_Y)$$

式中  $e_Y, \theta_Y$  为测站点的偏心距和偏心角;  $M_i$  为观测目标的方向值;  $D_i$  为测站点至观测目标的近似边长(图2a)。

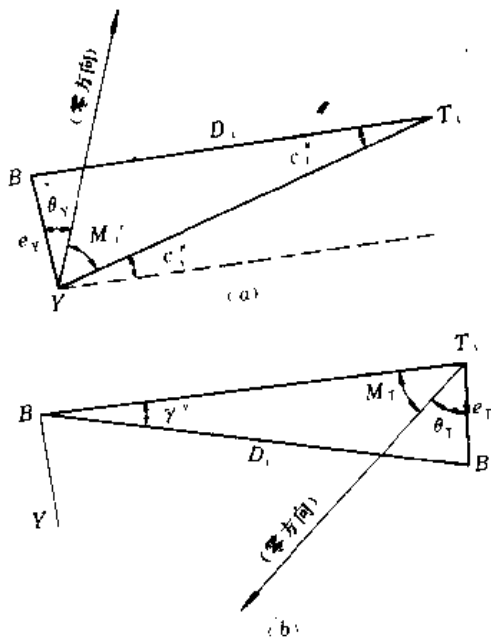


图2 归心改正计算

测站点偏心距较大时,宜用下式计算:

$$c_i'' = \arcsin \left[ \frac{e_Y}{D_i} \sin(M_i + \theta_Y) \right]$$

(2) 照准点归心改正计算公式为:

$$r'' = \frac{e_Y}{D_i} \rho'' \sin(M_T + \theta_T)$$

式中  $e_T, \theta_T$  为照准点偏心距和偏心角;  $M_T$  为以照准点为测站时的观测方向值;  $D_i$  为测站点至观测目标近似边长(图2b)。

**观测值化算** 在地球表面上所获得的观测成果,可看成是椭球体上的方向值,组成各三角形的方向线不是直线而是曲线(图3)。通过加入方向改正,就可化算成为高斯投影面上的直线方向值。图3所示,  $AB$  弧为椭球体面上  $A, B$  点的方向线,  $\delta_{AB}''$  和  $\delta_{BA}''$  即为方向改化值(亦称曲率改正数)。边长较短时(小于10km)可按下列式计算:

$$\delta_{AB}'' = \frac{(x_A - x_B)y_m \rho''}{2R^2}$$

$$\delta_{BA}'' = \frac{(x_B - x_A)y_m \rho''}{2R^2}$$

式中  $R$  为测区参考椭球体的平均曲率半径;  $x_A, x_B$  为  $A, B$  两点的纵坐标近似值;  $y_m$  为  $A, B$  两点平均横坐标的近似值。从图3可知,构成一个角度的两个方向改

化值之差即为该角度变化值。球面上一个三角形的三内角和与  $180^\circ$  之差称为球面角超。故可用一个三角形的三内角的变化值总和应等于该三角形的球面角超（符号相反）来检查方向变化值计算的正确性。即：

$$(\delta_{AC}'' - \delta_{AB}'') + (\delta_{BA}'' - \delta_{BC}'') + (\delta_{CB}'' - \delta_{CA}'') = \epsilon''$$

式中  $\epsilon''$  是球面角超，其计算公式为：

$$\epsilon'' = \frac{\rho''}{2R} ab \sin C \\ - \frac{\rho''}{2R} ac \sin B = \frac{\rho''}{2R} bc \sin A$$

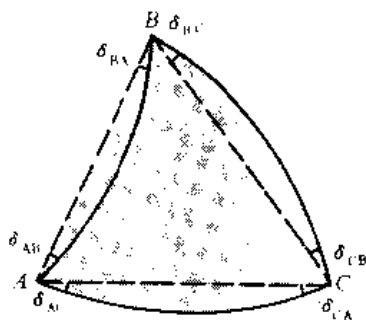


图3 曲率改正及球面角超

观测成果验算 通过三角网各种几何条件的计算，求出闭合差，以全面检查观测成果的质量。三角测量验算的项目有三角形闭合差、测角中误差、极条件闭合差、基线条件闭合差、方位角闭合差。

(1) 三角形闭合差。即三角形三内角的观测值之和与其理论值 ( $180^\circ$ ) 之差。其计算公式为：

$$w_{\Delta} = A' + B' + C' - (180^\circ + \epsilon'')$$

式中  $A'$ 、 $B'$ 、 $C'$  为球面观测值； $\epsilon''$  为球面角超。三角形闭合差的限差计算公式为：

$$w_{\Delta \text{限}} = 2 \sqrt{3} m$$

式中  $m$  为相应等级网所规定的测角中误差。

(2) 测角中误差。它是评定三角（锁）网角度观测精度的一项标准。一般是根据三角形闭合差，按非列罗公式计算：

$$m = \pm \sqrt{\frac{[ww]}{3n}}$$

式中  $w$  为三角形闭合差； $n$  为三角形个数，通常  $n > 20$  时，算得的  $m$  值才比较可靠。

(3) 极条件闭合差。在中点多边形和大地四边形中，以中点（或对角线交点）为极，从一条边出发经一系列角度推算回到该边的不符值（图4）。极条件闭合差的计算公式为：

$$w_{\text{极}} = \sum_{i=1}^n (\lg \sin a_i - \lg \sin b_i)$$

式中  $a_i$ 、 $b_i$  分别代表大地四边形、中点多边形各求距角的观测值。极条件限差的计算公式为：

$$w_{\text{极(限)}} = \pm 2m \sqrt{[\delta\delta]}$$

式中  $m$  为相应等级网的测角中误差； $\delta$  为各求距角的正弦对数一秒表差。

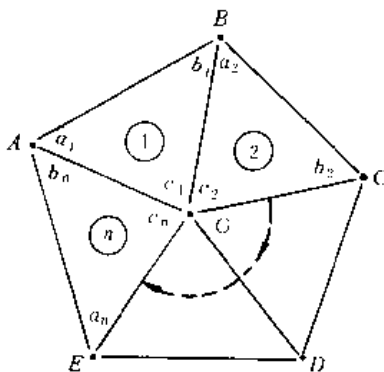


图4 极条件闭合差

(4) 基线条件闭合差。在三角网中，若有两条以上的起算边，从一条已知边（图5中的  $AB$  边）推算到另一条已知边（ $CD$  边）的不符值。基线条件闭合差的计算公式为：

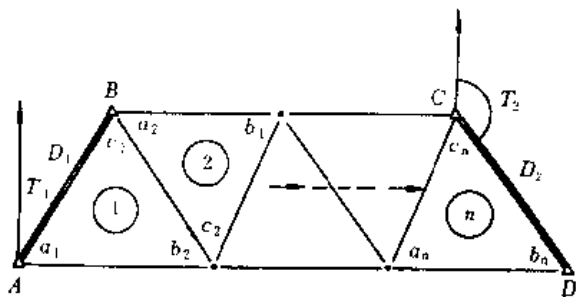


图5 基线及方位角闭合差

$$w_{\text{基}} = \lg D_1 - \lg D_2 + \sum_{i=1}^n \lg \sin a_i - \sum_{i=1}^n \lg \sin b_i$$

式中  $D_1$ 、 $D_2$  为两已知边（起算边）的边长； $a_i$ 、 $b_i$  为第  $i$  个三角形中的求距角。基线闭合差的限差计算公式为：

$$w_{\text{基(限)}} = \pm 2 \sqrt{2m_{\lg D}^2 + m^2 [\delta\delta]}$$

式中  $m_{\lg D}$  为起算边长度的对数中误差； $m$  为相应等级三角网的测角中误差； $\delta$  为求距角正弦对数的一秒表差。

(5) 方位角闭合差。在三角网中,若有两个以上已知方位边时,从一已知方位边起,通过三角形推算路线上的间隔角推算到另一已知方位边的不符值(图5)。方位角闭合差的计算公式为:

$$w_f = \alpha_{AB} - \alpha_{CD} + [C_k] - [C_f] + n180^\circ$$

式中  $\alpha_{AB}$ 、 $\alpha_{CD}$  为已知方位角;  $[C_k]$ 、 $[C_f]$  分别为方位角推算路线上左角和右角的观测值之和;  $n$  为推算方位角所经间隔角的个数。方位角闭合差的限差计算公式为:

$$w_{f(\text{限})} = \pm 2 \sqrt{2m_a^2 + nm^2}$$

式中  $m_a$  为起算方位角中误差;  $m$  为相应等级三角网规定的测角中误差。

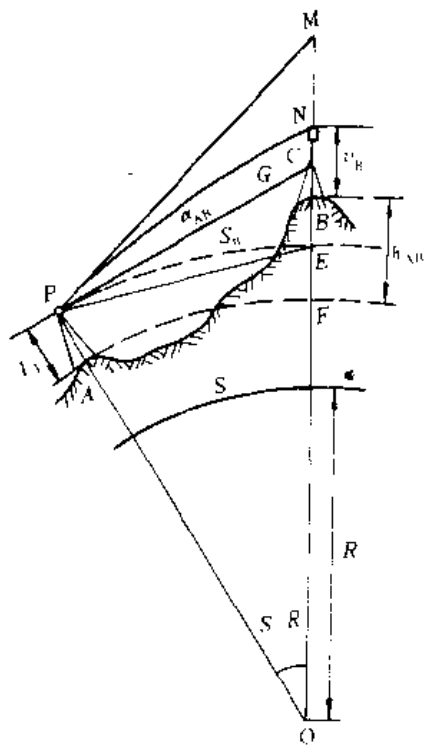
(李斐望)

### sanjiao gaocheng celiang

#### 三角高程测量 (trigonometric leveling)

通过观测一个点至另一个点的垂直角(或天顶距)及距离,依三角公式算出两点间高程差的一种测量方法。这种方法受地形限制少,是丘陵和山区测定测点高程的主要方法。

基本原理 如下图,将仪器置于点A,照准点B觇标N,由于受大气垂直折光影响,测得的垂直角为  $\delta_{AB}$ 。AB两点间的高程差  $h_{AB} = BF = MG + GE + EF - MN - NB$ , 式中  $MG = S_0 \text{tg} \delta_{AB}$ ;  $EF$  为仪器高  $i_A$ ;



三角高程测量图

$NB$  为觇标高  $v_B$ ;  $MN$  和  $GE$  分别为大气折光和地球曲率的影响值。  $GE - MN = CS_0^2$ , 式中  $C$  称为球气差系数, 是大气折光和地球曲率的综合影响系数, 故:

$$h_{AB} = S_0 \text{tg} \delta_{AB} + CS_0^2 + i_A - v_B$$

观测方法 将仪器置于A点,照准B点觇标(一般为标柱或照准圆筒顶面),丈量仪器中心至标石标志的垂直高度  $i_A$ 。用中丝法或三丝法观测垂直角  $\delta_{AB}$ ,并丈量觇标至标石的高度  $v_B$ 。A、B点间水平距离可用光电测距仪测定,或由三角测量成果算出。为消除球气差影响,通常还从B点观测A点,称为对向观测。

球气差系数C值的确定

(1) 根据水准测量的观测成果确定C值。由水准测量测得两点间的高差为  $h$ , 在该两点间进行三角高程测量,并以假定值  $C_0$  算得两点间的高差为  $h'$ , 则有  $C = C_0 + (h - h')/S_0^2$ 。

(2) 根据三角高程对向观测成果计算C值。在两点间同时进行三角高程对向观测,并以假定值  $C_0$  算得两点间高差  $h_{12}$  与  $h_{21}$ , 则有

$$C = C_0 - \frac{h_{12} + h_{21}}{2S_0^2}$$

C值随气候、地形等条件而变化,一般应用20条边以上的观测成果计算,并取其平均值。

高差计算公式 直接采用由三角测量或导线测量提供的高斯投影面上的边长值  $D$  计算单向观测的高差公式为:

$$h_{AB} = D \text{tg} \delta_{AB} + CD^2 + i_A - v_B + \Delta h_{AB}$$

式中  $\Delta h_{AB} = D \text{tg} \delta_{AB} \left[ \frac{H_m}{R} - \frac{Y_m^2}{2R^2} \right]$ ;  $H_m$  为两点高程平均值;  $Y_m$  为两点横坐标平均值;  $R$  为地球平均曲率半径。

采用对向观测,高差按下式计算:

$$h_{AB} = D \text{tg} \frac{\delta_{AB} - \delta_{BA}}{2} + \frac{i_A + v_A}{2} - \frac{i_B + v_B}{2} + \Delta h_{AB}$$

用经纬仪配合光电测距仪直接测定A至B点的垂直角和两点间的倾斜距离  $d$ ,经加常数、乘常数和气象改正后,高差的计算公式为:

$$h_{AB} = d_{AB} \sin \delta_{AB} + \frac{1}{2R} (d_{AB} \cos \delta_{AB})^2 + i_A - v_B$$

采用对向观测,高差的计算公式为:

$$h_{AB} = \frac{1}{2} [(d_{AB} \sin \delta_{AB} + i_A - v_B) - (d_{BA} \sin \delta_{BA} + i_B - v_A)]$$

进行光电测距高程导线测量,如果能采取措施提

高垂直角观测精度,使垂直角测量中误差小于 $\pm 2''$ .0,边长不大于700m时,高程测量精度可达四等水准测量的精度。现中国国家有关规范规定,在进行几何水准测量确有困难的山岳地带以及沼泽、水网地区,四等水准路线或支线,可用光电测距高程导线进行测量,并对视线长度、路线布置、斜距和垂直角观测以及高差计算等都作了规定。

(邢永昌)

### sanjiao gaocheng celiang pingcha

**三角高程测量平差** (adjustment of trigonometric leveling) 为消除三角高程网中由多余观测值引起的矛盾,依最小二乘准则所进行的计算工作。

图1为一三角高程网,已知A、B点的高程为 $H_A$ 、 $H_B$ ,欲求1、2两点的高程。通过三角高程测量,测得A、1和A、2点间的高差 $h_1$ 和 $h_2$ ,得1、2点的高程分别为 $H_1 = H_A + h_1$ 、 $H_2 = H_A + h_2$ 。在实际工作中为了提高精度,又观测了点B、1及点1、2间的高差 $h_4$ 及 $h_3$ ,得到1、2点的第二个高程值 $H_1' = H_B + h_4$ 、 $H_2' = H_1 + h_3$ 。由于观测中不可避免地含有误差,使得 $H_1 \neq H_1'$ 、 $H_2 \neq H_2'$ ,点1、2均具有两个高程值须通过平差计算,使点1、2均只具有一个可靠的高程值。

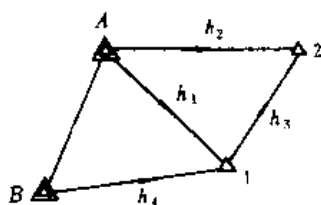


图1 三角高程网示意图

三角高程网平差 可用多种方法进行,中国矿山大多采用结点平差法。其步骤:①绘制平差略图;②列出求解待定结点高程平差值的计算公式;③计算各高差观测值的权;④用逐渐趋近法解算各待定点的高程平差值;⑤评定精度。

结点平差法是在间接平差原理基础上导出的一种简便平差法。以高程网中结点高程平差值作为未知数,以路线的观测高差作为独立观测值,按照“任一结点的高程平差值等于由与该结点有直接联系的各项高程路线求得的高程加权平均值”这一原则,直接列出求解未知数的计算公式。如图2, A、B为已知点,高程值分别为 $H_A$ 、 $H_B$ ,点1、2、3、4为待定点,各路线的观测高差值为 $h_1$ 、 $h_2$ 、 $h_3$ 、 $\dots$ 、 $h_{10}$ ,相应的权为 $p_1$ 、 $p_2$ 、 $p_3$ 、 $\dots$ 、 $p_{10}$ ,各待定点的高程平差值为 $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 、

$H_4$ , 求解各待定点高程平差值的计算公式为:

$$\bar{H}_1 = [p_1(H_2 - h_1) + p_6(H_A - h_6)$$

$$+ p_{10}(H_B + h_{10})] / (p_1 + p_6 + p_{10})$$

$$\bar{H}_2 = [p_1(H_1 + h_1) + p_2(H_A + h_2) + p_3(H_3 - h_3)$$

$$+ p_4(H_4 + h_4) + p_5(H_B + h_5)] / (p_1 + p_2$$

$$+ p_3 + p_4 + p_5)$$

$$\bar{H}_3 = [p_3(H_2 + h_3) + p_7(H_A + h_7)$$

$$+ p_8(H_4 + h_8)] / (p_3 + p_7 + p_8)$$

$$\bar{H}_4 = [p_4(H_2 - h_4) + p_6(H_3 - h_6)$$

$$+ p_9(H_B + h_9)] / (p_4 + p_6 + p_9)$$

式中 $H_1$ 、 $H_2$ 、 $\dots$ 、 $H_4$ 为各待定点的高程近似值。

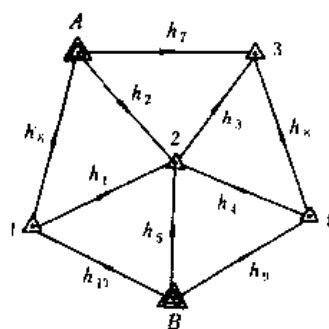


图2 结点平差法示意图

用逐渐趋近法进行解算以上各式。首先将有关数据代入各式,算得各待定点高程平差值的第一次趋近值 $\bar{H}_1'$ ,然后将趋近值作为高程近似值再算得第二次趋近值 $\bar{H}_1''$ ,如此反复进行,逐渐趋近,直至两次趋近值之差小于允许值时停止计算,最后一次趋近值即为高程平差值。

高差观测值权的计算 上列式中三角高程网各条边的高差观测值的权为: $p_i = C/D_i^2$ 。式中 $D_i$ 为三角网边长, km;  $C$ 为任意常数。若为单向观测边,权为

$$p_i = \frac{C}{2D_i^2}$$

每一待定点高程平差值的中误差按下式计算:

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{[p_{vv}]_i}{[p_i](n' - 1)_i}}$$

式中 $n'$ 为与该待定点有直接联系的观测边的条数; $[p_{vv}]_i$ 为与该待定点有直接联系的各项观测边高差的改正数平方乘以权的总和。

整个测区各待定点高程平差值的中误差按

$$m = \pm \sqrt{\frac{[m_i^2]}{n}}$$

计算。式中 $n$ 为全测区待定点数。

(邢永昌)

三角网间接平差 (parameter adjustment of triangulation network) 选定三角网中观测量

三角网间接平差时, 观测量是方向(或角度), 未知数是待定点的坐标, 其主要任务是列出以未知数为观测值的函数的误差方程, 再组成法方程并进行解算, 直接得出各三角点坐标的最或然值, 从而消除由于多余观测所引起的矛盾。

**误差方程** 参照平差问题的图形列出观测值的误差方程。因误差方程中常数项的有效数字位数较多,可以未知数的近似值列出方程。

$$v_{ki} = -\delta z_k + a_{ki}\delta x_k + b_{ki}\delta y_k - a_{ki}\delta x_i - b_{ki}\delta y_i + l_{ki}$$

$$a_{\mathbf{k}i} = + \rho^n \frac{\sin \alpha_{\mathbf{k}i}^0}{S_{\mathbf{k}i}^0}$$

$$b_{k_1} = -\rho'' \frac{\cos \alpha_{k_1}^0}{S_{k_1}^0}$$

$$l_{ki} = a_{ki} - L_{ki} - z_k$$

图 1 三角网方向观测

观测角度误差方程 由两个相邻方向误差方程式之差确定(图2)。其误差方程为:

A diagram showing an angle with vertex  $A$ . Two rays,  $AB$  and  $AC$ , originate from  $A$ . Ray  $AB$  is horizontal and points to the right. Ray  $AC$  points upwards and to the right. An arc is drawn between the two rays to indicate the angle.

图 2 三角网角度观测

$$\left. \begin{aligned} v_1 &= a_1 x_1 + b_1 x_2 + \dots + t_1 x_i + l_1 \\ v_2 &= a_2 x_1 + b_2 x_2 + \dots + t_2 x_2 + l_2 \\ &\vdots \\ v_n &= a_n x_1 + b_n x_2 + \dots + t_n x_i + l_n \end{aligned} \right\} \quad (1)$$
$$V = BX + l \quad (2)$$

$$V = (v_1, v_2, \dots, v_n)^T$$

$$B = \begin{bmatrix} a_1 & b_1 & \cdots & t_1 \\ a_2 & b_2 & \cdots & t_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_n & b_n & \cdots & t_n \end{bmatrix}$$



的多少分为自由网和非自由网两种。自由网是网中只有确定各点平面位置所必须的起算数据；非自由网则是网中除了必要的起算数据外，尚有多余的起算数据。自由网中只具有各种几何条件，而在非自由网中还有多余起算数据之间所产生的强制附合条件。

几何条件 必须满足图形本身的要求，包括图形条件、水平（圆周角）条件和极条件。

(1) 图形条件。如任何闭合多边形中所有顶点的角度都进行观测时，则各角平差后的角值之和应该等于  $180^\circ (n-2)$ ， $n$  为角数。如三角形三内角之和应等于  $180^\circ$  的要求就是最简单的图形条件。如图 1a，多边形  $ABCDE$  的图形条件方程式为：

$$\sum_{i=1}^5 v_{a_i} + \sum_{i=1}^5 v_{b_i} + w = 0$$

$$w = \sum_{i=1}^5 a_i + \sum_{i=1}^5 b_i - 540^\circ$$

式中  $a_i$ 、 $b_i$  为角度观测值； $w$  为条件不符值； $v_{a_i}$ 、 $v_{b_i}$  为观测角值的改正数。

(2) 水平（圆周角）条件。三角网中具有中点多边形，且在中点  $O$  上对各点都进行了观测所产生的条件。这个条件要求平差后围绕中点上的各角之和应等于  $360^\circ$ 。如图 1b，条件方程式为：

$$\sum_{i=1}^5 v_{c_i} + w = 0$$

$$w = \sum_{i=1}^5 c_i - 360^\circ$$

(3) 极条件。在大地四边形和中点多边形中，依次解算同一顶点上的三角形，并以同一边为起算边和结束边，该边应得相同的边长值而产生的条件。如图 1c，在中点多边形  $OABC$  中，其极条件应满足：

$$\prod_{i=1}^3 \frac{\sin a_i}{\sin b_i} = 1$$

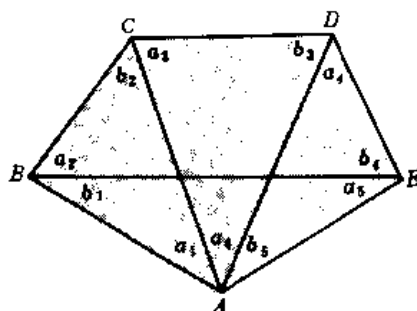
参加平差的条件方程式必须是线性的。上式是非线性函数，需将其线性化，线性化后的真数形式为：

$$\sum_{i=1}^3 (\text{ctg} a_i v_{a_i} - \text{ctg} b_i v_{b_i})$$

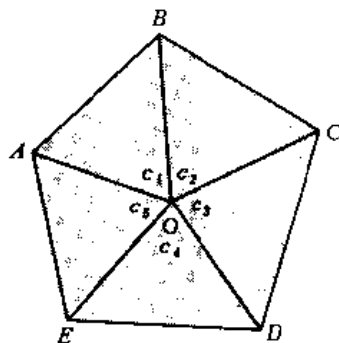
$$+ \left( 1 - \prod_{i=1}^3 \frac{\sin a_i}{\sin b_i} \right) \rho'' = 0$$

强制附合条件 又称控制条件，包括坐标方位角和固定角条件、基线和固定边条件及坐标条件。

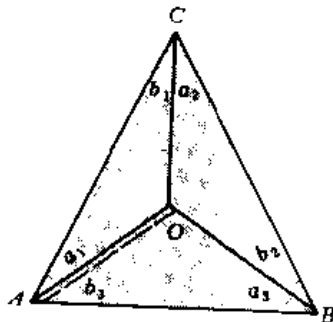
(1) 坐标方位角条件和固定角条件。三角网中具有若干条互不连接的已知坐标方位角的边时产生坐标方位角条件，如图 2a，三角网中有两条互相连接的已知坐标方位角的边时，产生固定角条件，如图 2b。设有一条已知坐标方位角的边，通过传算路线用平差后角值推算得到另一边的坐标方位角时，应等于该边的



(a) 图形条件



(b) 水平条件



(c) 极条件

图 1 几何条件

已知坐标方位角。

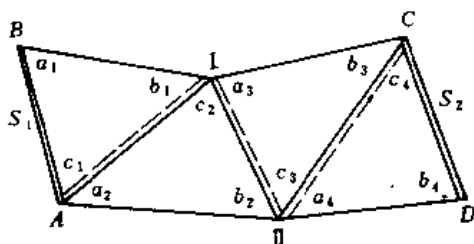
如图 2a， $AB$  和  $CD$  的坐标方位角  $\alpha_{AB}$  和  $\alpha_{CD}$  均已知，以图中虚线表示传算路线，其坐标方位角条件方程式：

$$v_{c_1} - v_{c_2} + v_{c_3} - v_{c_4} + w = 0$$

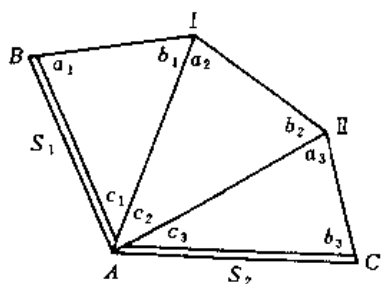
$$w = \alpha_{AB} + c_1 - c_2 + c_3 - c_4 - \alpha_{CD}$$

如图 2b， $\angle BAC$  为固定角，其固定角条件方程式的列法与坐标方位角条件方程式列法相同。

(2) 基线条件和固定边条件。三角网中测量了两条或两条以上的基线，或具有若干条互不连接的已知边时（图 2a），就产生基线条件。相应两条基线或已知边互相连接时（图 2b），就产生固定边条件。设其中一条基线或已知边为必需的起算边，那么通过传算路线，用平差后的角值推算至另一基线或已知边时，应等于该



(a) 坐标方位角和基线条件



(b) 固定角和固定边条件

图2 强制附合条件

基线或已知边的长度,如图2a, AB和CD为两条基线或已知边,其长度为 $S_1$ 和 $S_2$ ,则基线条件方程式为:

$$\frac{S_1}{S_2} \prod_{i=1}^4 \frac{\sin a_i}{\sin b_i} = 1$$

它的线性式为:

$$\sum_{i=1}^4 (\text{ctga}_i v_{a_i} - \text{ctgb}_i v_{b_i}) + \left( 1 - \frac{S_1}{S_2} \prod_{i=1}^4 \frac{\sin a_i}{\sin b_i} \right) \rho'' = 0$$

当AB和BC为互相连接的已知边,所产生的固定边条件的形式完全和基线条件方程式相同。

(3)坐标条件。三角网中具有两个或两个以上没有被已知边连接起来的已知点或已知点组(图2a中的A和B点、C和D点)所产生的条件。坐标条件要求由一个已知点或一组已知点中的一个点的坐标,利用平差后角值,推算出另一个没有被已知边连接的已知点或另一个已知点组中的一个点的坐标,应等于该点的已知坐标。一组已知点中只有一个点的坐标是独立的,故两组已知点间只存在一个纵坐标条件和一个横坐标条件。在组成坐标条件方程式时,为使其具有规律性,选择间隔边组成的路线为传算路线。如图2a,两已知点A和C之间的传算路线为A-I-II-C,设起算点的纵、横坐标为 $x_1, y_1$ ,传算路线终点的坐标为 $x_n, y_n$ ,线性化后的纵、横坐标条件方程式的真数形式为:

$$\begin{aligned} & [(x_n - x_1)(\text{ctga}_i v_{a_i} - \text{ctgb}_i v_{b_i})]_i^{-1} \\ & - [(y_n - y_1)(\pm v_{c_i})]_i^{-1} + \rho'' w_x = 0 \\ & [(y_n - y_1)(\text{ctga}_i v_{a_i} - \text{ctgb}_i v_{b_i})]_i^{-1} \\ & + [(x_n - x_1)(\pm v_{c_i})]_i^{-1} + \rho'' w_y = 0 \end{aligned}$$

间隔角改正数的符号,若为传算路线的右旋夹角时取正号,反之为负号。

为确保条件平差结果的正确性,在选定的条件方程组中,各条件方程式必须是独立的,即任一条件方程式都不能由同组中其他条件方程式用数学的方法推导出来,并且包括网中全部独立的条件方程式。有关的测量规程还规定了条件方程式的不符值限差计算方法,不符值接近限差的只能是极个别的,否则说明观测质量不好。

权函数式 在条件平差中,经过平差计算求得的是各观测量的平差值,而网中另外一些元素,如待定的边长、边的坐标方位角和点的坐标的最或然值,都是观测值平差值的函数。已求得单位权中误差后,为求某一平差值函数的中误差,只要求得该函数的权倒数,即可容易地求得相应中误差。为了计算平差值函数的权倒数,就要先列出平差值函数式。平差值函数式一般形式为 $F=f(\hat{L}_1, \hat{L}_2, \dots, \hat{L}_n)$ 。权函数式实际上就是平差值函数的全微分,其纯量形式为:

$$v_F = f_1 v_1 + f_2 v_2 + \dots + f_n v_n$$

式中 $f_i$ 为权函数式中改正数系数。平差值函数为非线性形式时, $f_i$ 为函数对平差值 $\hat{L}_i$ 的偏导数。在平差计算中,对于不同的平差值函数,需列出相应的权函数式,包括边权函数式、坐标方位角权函数式以及纵、横坐标权函数式等。列出方法与其相应的条件方程式组成方法类似,只是在权函数式中没有不符值项。

法方程式 按最小二乘准则,即 $V^T P V = \text{最小}$ ,求解条件方程组所组成的新方程组。由条件方程式直接组成法方程式的矩阵表达式为:

$$NK + W = 0$$

$$N = AP^{-1}A^T$$

式中 $N$ 为法方程式系数阵; $K$ 为联系数阵; $P$ 为观测值的权阵。解法方程式可得联系数:

$$K = -N^{-1}W$$

改正数为:

$$V = P^{-1}A^T K$$

在测量平差中,法方程式的解算也常采用高斯约化法等求得联系数,而后根据改正数方程式求得各角的改正数。在解算法方程式时,一并求解平差值函数的权倒数 $1/p_F$ ,其表达式为 $\frac{1}{p_F} = \left[ \frac{ff}{p} \cdot r \right]$ 。解算时,只



要在高斯-杜力特简化格式中增加一个(f)列,通过 $r$ 次约化后,即可得出平差值函数的权倒数 $1/p_r$ 。

**精度评定** 按平差结果来评定三角网的观测精度及平差值函数的精度。评定的内容包括单位权中误差、平差值函数中误差。

(1) 单位权中误差 $m_0$ 。用观测值的改正数 $v$ 来计算,计算公式为:

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{V^T P V}{r}}$$

三角网按角度平差时, $v_i$ 值是角度改正数,所以上述单位权中误差 $m_0$ 也就是测角中误差, $r$ 为条件方程个数。 $V^T P V$ 可按下式计算:

$$\begin{aligned} V^T P V &= [pvv] = p_1 v_1^2 + p_2 v_2^2 + \dots + p_n v_n^2 \\ &= -[wk] \end{aligned}$$

式中 $n$ 为观测值个数。

(2) 平差值函数中误差。平差值函数就是根据平差值所算出的某些量的最或然值。已知单位权中误差 $m_0$ 和某一观测值或观测值函数的权,即可求得该量的中误差:

$$m_f = m_0 \sqrt{\frac{1}{p_f}}$$

上式只适用于单位权中误差的单位与观测值权函数式 $v_f$ 的单位相同的情况。单位不同,则需按角度误差 $m_\beta$ 与线量误差 $m_s$ 的关系、真数误差与对数误差关系,导出边的中误差及纵、横坐标中误差的计算公式(见测量平差)。

(王明德)

### shengchan kuangjing celiang

#### 生产矿井测量 (production mine survey)

矿井生产过程中所进行的测量工作的总称,是矿山工程测量的重要组成部分。它的主要对象是采矿巷道和采煤工作面。其主要测量工作及其进展的顺序是:从地面近井点和高程基点分别进行连测导线测量(见几何定向)和水准测量至井口;通过井筒(立井、平硐、斜井)进行矿井联系测量,将地面的平面坐标系统和高程系统传递到井下;沿井底车场巷道和主要巷道进行井下基本控制导线测量和井下高程测量,以建立井下平面控制系统和高程控制系统;沿采区巷道进行采区控制导线测量和高程测量;进行采区测量。

生产矿井测量工作中,大量的日常工作是测设巷道掘进时的巷道中线和腰线,通称为巷道中腰线标定。

井下巷道测量的特点是先在实地标定巷道的设计位置,并经常指示巷道掘进的方向,然后及时对新掘的巷道进行验收测量,并将巷道的实际位置填绘到矿

图上。

为了计算煤炭产量和损失量,需要定期进行采煤工作面测量,并把工作面的实际位置填绘到矿图上。在生产过程中,还需经常测定煤层产状要素,包括煤层走向、倾向、倾角、煤层厚度以及各种特征点的位置,供研究矿体形状、性质和绘制矿体几何图使用。有的矿井还需进行地面控制网的改建、扩建或重建,地形测量以及延深井筒和新井建设等测量工作。

井下测量的精度应满足采矿工程的要求。一般工程的测量,可按《煤矿测量规程》规定的精度要求进行;某些特殊工程的测量,如重要的贯通工程,应进行测量方案设计和测量误差预计,以确定能满足该工程要求的测量精度。

(桑光灿)

### shiji sunshi meiliang

#### 实际损失煤量 (actual loss of reserves)

煤矿在开采过程中,实际发生的损失储量。分为工作面损失煤量、采区损失煤量和矿井损失煤量。

**工作面损失煤量** 发生在工作面内的各项损失,包括:①与采煤方法有关而留设的煤柱、煤垛、护顶煤和顶底煤的损失;②遗留在采空区内的落煤损失;③不正确开采引起的损失煤量。

**采区损失煤量** 发生在采区内的各项损失,包括:①采区内各工作面损失煤量之和;②设计规定不回采的采区巷道煤柱损失的煤量;③不正确开采引起的采区损失煤量。

**矿井损失煤量** 发生在矿井内的各项损失,包括:①矿井各采区内损失煤量之和;②目前技术水平确实无法开采的局部地区的储量;③工业场地煤柱、防水煤柱及其他安全隔离煤柱;④受目前开采技术条件的限制,无法开采的已开拓出的报废储量。

(马启勋)

### shuzi dixing celiang

#### 数字地形测量 (digital topographic survey)

利用电子速测仪进行野外地形信息数据的采集、自动记录,并传输给计算机进行数据处理和编辑成图,最后通过各类输出设备输出。输出产品的形式可以是图解地面模型,即由数控绘图仪在计算机的控制下自动绘制出所需比例尺的地形图;也可以数字形式将地形模型的全部要素存储在磁盘、光盘或磁带中。数字地形测量的基本工作原理如图所示。

**野外数据采集设备** 数字地形测量是对野外地



数字地形测量工作原理框图

物、地貌特征点进行采集,并记录(存储)在数据终端上。野外数据的采集方式基本上有两种:光学经纬仪+光电测距仪+微型计算机作半自动采集和记录的方式;电子速测仪作自动采集和记录的方式。电子速测仪的型号很多,但都应该有与之相匹配的电子数据记录器或数据终端。数据终端的作用是自动记录、存储和部分处理观测结果,并可将野外记录的数据通过接口传输到电子计算机中,以作进一步数据处理,编辑成图。

**地物、地貌信息记录** 利用电子速测仪在测定并记录地物、地貌特征点三维坐标值的同时,还记录这些点的特征信息,以便进行数据处理,并编辑地形图。利用一组拼音字母和数字来唯一地表示某个地形、地物点的特征,并与位置数据同时输入数据终端,以使绘图工作可以完全转移到室内进行。说明地物、地貌特征点特征的这组“数字”或“字母数字”称为该点的“编码”。

地形图的各种点、线、面符号都可以分解成为单个的点。当计算机自动绘制这些符号时,必须能自动识别点的类型、点与点之间的连接关系、绘制的先后次序。野外地形数据采集编码的形式可归纳为以下三段式:地形码+信息Ⅰ+信息Ⅱ,编码长度合计为7~8位。

(1) 地形码。是地形图的图式符号码,编码方式以

现行地形图图式为依据,通常用三位字表示。码的形式有三位数字型和三位字符型两种。三位数字地形码是按照图式各符号的排序号进行编码。依据中国 GB7929-87《1:500 1:1000 1:2000 地形图图式》的规定,将地形图图式符号分为九类。为了给编码者一定的自由度,后面增加一个0类,即0~9共十大类。三位字符地形码是根据图式中各符号名称的汉语拼音缩写或汉语拼音字母与数字混合的方式来编码。这种编码形式较直观、容易记忆,可通过程序处理使野外作业简化,只操作一位或三位字,但要求程序自动转化为对应的数字地形码,以便字符型码和数字型码最终得到统一。

(2) 信息Ⅰ。表示对地形码绘图动作的控制,通常由三位或四位数字组成。不同的编码方法具有不同的含义。

(3) 信息Ⅱ。是对绘图指令的进一步说明,以不同的数字来区分连什么线型或连线的顺序等控制信息。通常为二位或三位数字。

**野外数据采集方法** 在数字地形测量工作中,野外数据采集是关键性的作业环节。作业人员要认真绘制测区略图,重复检查编码信息的正确性。数据采集的基本步骤是:野外测量仪器、设备的准备和检验;图根控制测量,地物、地貌特征点的测定和记录,其内容包括测定和记录点的三维坐标、输入其属性数据编码两项。具体作业方法依地物和地貌的特点略有不同。

#### 数据处理和自动绘图

**硬件系统** 电子计算机、数字化仪、绘图仪和打印机是数字地形测量室内作业最基本的硬件系统。

**软件系统** 大致包括数据传输、数据处理、地形图编辑、绘图文件和文字、字符的记注等部分。

将存储在电子数据记录器或其他载体(如磁带)中的野外采集数据传输到计算机中称为数据传输。不同型号的电子数据记录器所用的传输指令、传输参数不尽相同,通常都是通过专用电缆,采用 RS-232 串行接口来实现的。

数据处理就是由计算机进行数据的分类排序。首先,根据数据编码将地物点与地形点分开。对于地物点,不但要将同类地物点放在一起,而且还要按同一地物中转折点的顺序存放,以便逐个地物依次自动绘制。地形点一般按点号顺序存放。构成三角网时,按三角形的顺序和地形的特征信息调用相应的点号及其数据。

自动绘图必须有绘图文件,包括地物绘图文件和地貌(形)绘图文件。产生地物绘图文件主要是确定文件名、输入测图比例尺分母和四个图廓点坐标。各种地物符号的绘制通常是利用各绘图子程序完成。产生地

貌绘图文件主要是将一些绘图子程序联结起来。

为了进行数据检核和处理地物符号之间的相互关系,使绘制的图形正确无误,一般总是先进行屏幕编辑。

自动绘图时必须保证任何图形符号、文字和数字注记只能绘制到图廓线为止,超出图廓线以外一律不绘。为此,需预先计算出各种符号绘至图廓线为止的坐标值。

地形图上有许多文字、字符需要注记,这些注记要选择适当的位置和方向,尽量不要压盖其他图形符号。

**数字地面模型与应用** 在数字地形测量中,一般是利用采样点建立地貌模型,然后在此模型上作内插处理。建立的地貌模型既可以与采样点吻合,也可以与采样点略有偏差,但必须与客观地貌尽量接近。根据不同的地形条件,可以采用不同的数学模型逼近,如平面法、二次曲面法、曲面移动法等。

**数字地面模型(DTM)**是利用计算机定量分析地表形态的有效方法之一,是用一群地面点的平面坐标和高程的数值描述地表形状的一种方式。构成DTM的方法主要有方形格网(Grid)和不规则三角网(Triangulated Irregular Network, TIN)两种。TIN能较好地顾及和表示各种地性线特征。数字地面模型一般存储在计算机磁盘或磁带中。利用DTM可以产生各种地形因子,输出数字地图,进行数字地形分析,量土地面积,绘制等高线图和三维立体地图等,也可进行工程建设的规划、设计,道路自动选线、计算土方量等。

影响DTM精度的主要因素有:地形类别、内插方法、采样点密度和采样精度、剔除粗差的程度等。

数字地形测量的内外业劳动强度低、效率高,测量成果为数字形式,精度较高,用途广泛。地形等高线图只是作为显示地貌形态特征的一种符号,求解其他地形参数时可直接利用DTM。

(郭达志)

## shuipingjiao celiang

**水平角测量** (horizontal angle survey) 测定一点到两目标的方向线在水平面上垂直投影线间的夹角的工作。此夹角称水平角。测水平角时,将经纬仪安置在测站点O上对中、整平(图1)。对中,就是用垂球、对中杆或光学对中器,将仪器中心(即水平度盘中心)安置在通过测站点的铅垂线上。整平,是利用照准部水准器整平仪器,使水平度盘水平。在两目标点A、B树立标杆或其他标志,作为仪器照准时的目标。观测时,用望远镜视线精确地依次照准目标A和B,

并通过读数设备读出水平度盘上的相应读数;再按度盘读数计算水平角值。测水平角的方法有测回法、复测法和方向观测法三种。

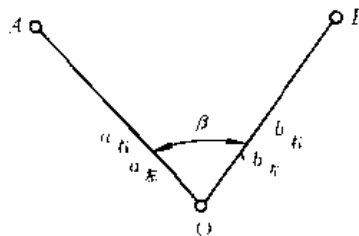


图1 测回法

**测回法** 适用于观测两个方向之间的水平角(图1)。观测时,正镜(竖直度盘位于望远镜左侧,又称盘左)位置用经纬仪望远镜依次照准目标A、B,并读取水平度盘读数 $a_L$ 、 $b_L$ ,得 $\angle AOB$ ,角值 $\beta_L = b_L - a_L$ ,称上半测回;纵转望远镜,再用倒镜(竖直度盘位于望远镜右侧,又称盘右)位置观测,得下半测回,角值 $\beta_R = b_R - a_R$ 。上、下两个半测回称一测回,角值 $\beta = (\beta_L + \beta_R) / 2$ 。可用差值 $d = \beta_R - \beta_L$ 检核观测正确性。正、倒镜观测可以消除仪器误差和提高测角精度。根据所测角度的精度要求,选用合适的经纬仪和测回次数。多个测回测角时,用测回间角值之差进行检核,并取各测回角值的平均值为最终结果。

**复测法** 又称倍角法。带有复测机钮,可使照准部和水平度盘紧固或松开的经纬仪称为复测经纬仪。用复测法测角时,首先以正镜(盘左)位置,用经纬仪望远镜照准左目标A(图1)并读取水平度盘读数 $a$ ;松开复测机钮及照准部制动螺旋,在水平度盘固定不动的情况下,顺时针方向旋转照准部照准右目标B,不读数;扣紧复测机钮,再以上述方法依次对A、B目标反复照准 $n$ 次,角值在度盘上累加,得该角度的 $n$ 倍值。同法倒镜再观测 $n$ 次,读取最末一次照准右目标B的水平度盘读数 $b$ ,此为 $n$ 个复测,水平角值为:

$$\beta = \frac{b - a + k360}{2n}$$

式中 $k$ 为照准部指标经过度盘 $0^\circ$ 的整次数。此法因减少读数次数而减少了读数误差对所测角值的影响。

**方向观测法** 适用于在一个测站上测量两个以上的方向。它是在一测回内,把测站上所需观测的方向一并观测,以求出各方向的方向值,角度值由有关方向值相减而得。如图2,测站O上要观测5个目标。在上半测回中,用正镜位置顺时针方向旋转照准部,从起始方向A(又称零方向)开始依次照准A、B、C、D、E、A并读取水平度盘读数。由起始方向A开始,最后又

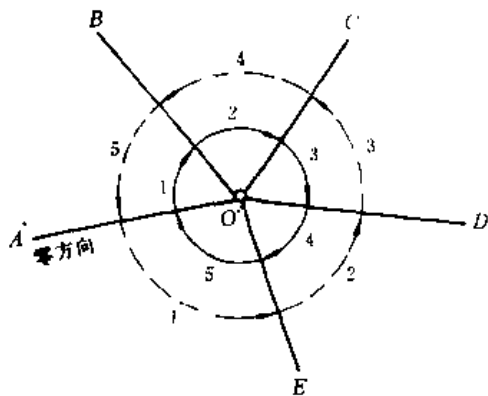


图2 方向观测法

回到A的观测,称为“归零”,以检查水平度盘位置有无转动。纵转望远镜,下半测回用倒镜位置逆时针方向旋转照准部,依次照准A、E、D、C、B、A并读数。这种半测回归零的方向观测法称为全圆方向观测法。待测方向数少于4个,观测时一般可不“归零”。方向观测法主要用于二等及其以下的三角观测,测回数依测角精度而定。方向数大于6时,一测回观测时间较长,难以保证必要的观测精度,可分组进行观测。一测回内同一方向正镜读数 $L$ 与倒镜读数 $R$ 之差,即

$$2C = L - R \pm 180^\circ$$

称为二倍照准差,简称“ $2C$ ”。用一测回内各方向 $2C$ 互差的大小来衡量观测成果的质量。照准点方向垂直角的绝对值大于 $3^\circ$ 时,该方向的 $2C$ 互差可按同一观测时间段内的相邻测回进行比较。

(桑光灿)

### shuizhun celiang

**水准测量 (leveling)** 用水准仪和水准标尺测定地面两点间高差的工作。用于建立国家水准网、矿区高程控制网和工程高程控制网(见矿区高程控制测量),为监测地壳的垂直运动、测绘地形图及各种工程建设提供高程控制。

水准测量的实施采取逐点向前推进的方法。如图1,为了测量地面点A和B之间的高差,先在A、1两点上竖立水准标尺,在点A、1的中间安置水准仪。整平水准仪,照准前、后两点A、1上的水准标尺,在水准标尺上读取高度值 $a_1$ 和 $b_1$ 。两水准标尺的读数差,就是A、1两点间的高差 $h_{A1}$ 。第一站测量完毕后,A点的水准标尺移至点2,点1的水准标尺保持不动,水准仪移至1、2两点的中间,测量1、2两点间的高差 $h_{12}$ 。如此继续进行,直至水准标尺安置在B点为止。水准

测量须按照技术设计、选线埋石、观测、数据处理等工序进行。

**技术设计** 实施水准测量前,应根据测量的目的、任务和地形特征等因素进行实地踏勘,在已有图纸上选线,编写技术设计说明书。说明书中对水准网等级、布网路线、技术规格、观测方法、使用仪器、数据处理等作详细规定和说明。

**选线埋石** 为使水准点能够长期保存,在实地确定最有利位置埋设水准标石。水准标石分为基岩水准标石、基本水准标石、普通水准标石三种类型。埋设标石的类型根据地质条件及土质状况决定。国家三、四等水准点和矿区首级水准标石一般采用普通水准标石。普通水准标石由混凝土制作,也可以是钢管标志或墙角标志。标石顶面嵌入一个金属水准标志。

**观测** 水准测量随等级不同对所用仪器、观测精度等技术指标要求不同,但各等级水准观测的程序和方法基本一样。

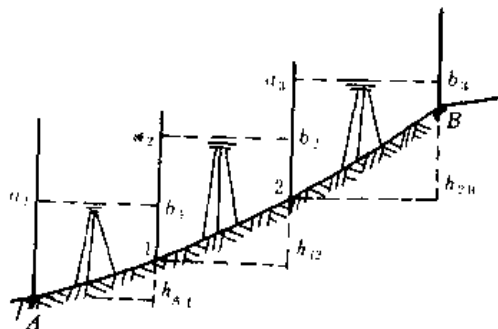


图1 水准测量

首先从一条水准路线的起点开始,依次观测至终点,称为往测;然后再反方向从终点测至起点,称为返测。此为路线往返测,由于两水准点间的距离多在2km以上,必须多次安置仪器进行观测,每安置一次仪器称作一个测站。在一个测站上的观测顺序是“后、前、前、后”,即先照准后视点A上的水准尺,读取 $a_1$ ,转动望远镜,照准前视点1上的水准尺,读取 $b_1$ ;变更仪器高,先照准点1上的水准尺读取 $b'_1$ ,转动望远镜照准点A上的水准尺读取 $a'_1$ ,则 $a_1 - b_1 = h_{A1}$ 和 $a'_1 - b'_1 = h'_{A1}$ 分别为一个测站上的往测高差和返测高差。

为了消除和减弱各种误差对观测成果精度的影响,各等水准测量对视线高度、前后视距差、视线长度、往返测高差之差等均有限差规定。

**数据处理** 对测段、路线等符合要求的观测成果,先进行概算,根据已知点高程值和测段观测高差计算出每一个水准点的概略高程值。然后对水准网进行平

差,求得每一水准点平差后的高程值(见水准测量平差)。

在计算概略高程值时,需加入水准一米长度改正、正常水准面不平行改正和水准路(环)线闭合差改正。正常水准面不平行的改正是由位于  $A$  和  $A'$  不同高程处的水准面不平行引起的。如图 2,  $h_A \neq h_B$ , 使得从  $A$  点出发,沿着  $AA'B'B$  路线进行水准测量,又闭合到  $A$  点,则测得之高差总和  $\Sigma h = BB' - AA' \neq 0$ , 形成理论闭合差。在日常使用的正常高系统内,采用下述公式进行改正:

$$\epsilon_i = -AH\Delta\varphi'$$

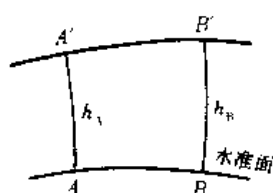


图 2 水准面的不平行性示意

式中  $H_i$  为测段始末两点的近似高程平均值,以  $m$  为单位;  $\Delta\varphi'$  为测段始末两点的纬度差,以  $(')$  为单位;  $A$  以整条水准路线的平均纬度  $\varphi_m$  代入下式算得:

$$A = 1.5371 \times 10^{-6} \sin 2\varphi_m$$

(邢永昌)

## shuizhun celiang pingcha

### 水准测量平差 (adjustment of leveling)

为消除水准测量中由多余观测引起的矛盾,依照最小二乘准则所进行的计算工作。图 1 中  $A$ 、 $B$  为已知水准点,其高程值分别为  $H_A$ 、 $H_B$ ,  $H_P$  为待定点  $P$  的高程值,经水准测量测得  $A$ 、 $P$  点间的高差为  $h_{AP}$ 。为了提高  $P$  点高程值的精度,还要观测  $B$ 、 $P$  点间的高差  $h_{BP}$ ,并算出  $P$  点的另一高程值  $H'_P = H_B + h_{BP}$ 。 $P$  点两个高程值中一个为多余观测值,  $H_P \neq H'_P$ 。取  $H_P$  与  $H'_P$  的加权平均值  $H_P$  作为  $P$  点的唯一高程值。这是最简单的水准测量平差。

水准测量平差可采用条件平差法,也可采用间接平差法,以及在以上方法基础上导出的结点平差法、等权代替法等。

水准网条件平差法是以已知点的高程作为起算数据,以高差观测值作为独立观测值,依网形列立条件方程式,然后组成法方程式,并解算求出联系数  $k$ ,计算路线高差改正数和评定精度。

条件方程 水准网的条件方程式个数等于多余观

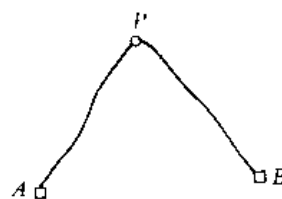


图 1 水准测量平差

测值的个数,其组成形式与水准网图形结构有密切关系。

图 2 为单一附合水准路线,  $H_A$ 、 $H_B$  为已知点  $A$ 、 $B$  的高程值,  $h_1$ 、 $h_2$ ……为各测段高差观测值,  $L_1$ 、 $L_2$ ……为测段长度。这类水准路线只有一个附合条件方程式:

$$[v_i] + w = 0$$

$$w = [h] + H_A - H_B$$

式中  $v_i$  表示测段高差观测值的改正数;  $[h]$  表示测段高差观测值总和。

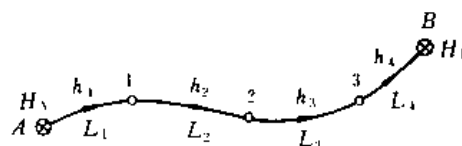


图 2 单一附合水准路线

图 3 为单一闭合水准路线,  $A$  为已知水准点,  $h_i$  为  $i$  测段高差观测值,  $L_i$  为  $i$  测段长度。这类水准路线有一个闭合条件方程式:

$$[v_i] + w = 0, \quad w = [h]$$

式中  $v_i$  为高差观测值的改正数;  $[h]$  为各测段高差观测值总和。

图 4 为布设在  $A$ 、 $B$ 、 $C$ 、 $D$  四个已知水准点间的交叉形水准网,结点 1、2 为待定点,  $h_i$  为各路线高差观测值,  $L_i$  为各路线长度。该水准网有 3 个附合条件

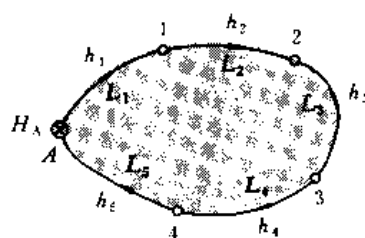


图 3 单一闭合水准路线

方程式:

$$v_2 - v_1 + w_1 = 0$$

$$v_4 - v_5 + w_2 = 0$$

$$v_2 + v_3 - v_5 + w_3 = 0$$

式中

$$w_1 = h_2 - h_1 + H_A - H_B$$

$$w_2 = h_4 - h_5 + H_C - H_D$$

$$w_3 = h_2 + h_3 - h_5 + H_A - H_D$$

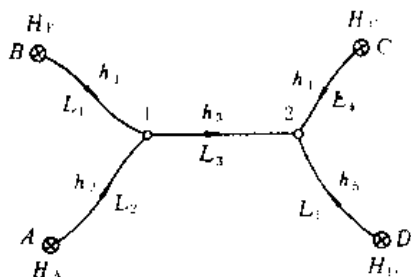


图4 交叉形水准网

图5为网络形水准网,有一个附合条件和4个闭合条件方程式:

$$v_6 - v_8 + w_0 = 0$$

$$v_1 + v_8 - v_7 + w_1 = 0$$

$$v_2 + v_8 - v_7 + w_1 = 0$$

$$v_3 + v_6 - v_8 + w_2 = 0$$

$$v_4 + v_6 - v_5 + w_3 = 0$$

式中

$$w_0 = h_6 - h_8 - (H_B - H_A)$$

$$w_1 = h_1 + h_7 - h_6$$

$$w_2 = h_2 + h_8 - h_7$$

$$w_3 = h_3 + h_5 - h_8$$

$$w_4 = h_4 + h_5 - h_6$$

列立以上各条件方程式和计算条件式闭合差时,要使高差观测方向与条件式的计算方向保持一致。

路线高差改正数的计算 由法方程解算出联系数

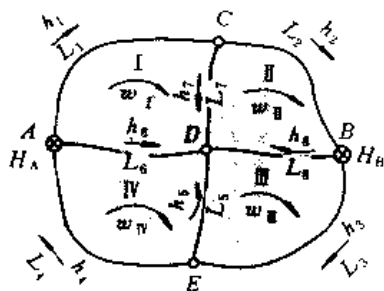


图5 网络形水准网

$k_i$ 后,按下式计算各条路线的高差改正数:

$$v_i = \frac{a_i}{p_i} k_1 + \frac{b_i}{p_i} k_2 + \dots + \frac{r_i}{p_i} k_r$$

式中  $a_i, b_i, \dots, r_i$  为条件式系数;  $p_i$  为路线高差观测值的权。

路线高差观测值权的确定 平差二等水准网时,路线高差观测值的权按下式计算:

$$p_i = \frac{c}{m_i^2}$$

式中  $c$  为任意常数;  $m_i$  为路线高差观测中误差,按下式计算:

$$m_i = \pm \sqrt{\frac{1}{4n} \left[ \frac{\Delta\Delta}{R} \right]}$$

式中  $\Delta$  为测段高差往返观测值不符值, mm;  $R$  为测段长, km;  $n$  为测段数。

平差三、四等网时按下式确定路线的权:

$$p_i = \frac{c}{L_i}$$

式中  $c$  为任意常数;  $L_i$  为  $i$  路线的长度, km。

布设于山区的水准网,按下式确定权:

$$p_i = \frac{c}{n_i}$$

式中  $c$  为任意常数;  $n_i$  为  $i$  路线上的测站数。

精度评定 为评定水准网质量,需计算单位权中误差、每公里高差中误差、最远点的高差中误差等。

单位权中误差按下式计算:

$$\mu = \pm \sqrt{\frac{[pvv]}{r}}$$

式中  $v_i$  为水准路线或环节高差观测值改正数;  $r$  为条件式个数。

每公里高差中误差按下式计算:

$$m_{km} = \frac{\mu}{\sqrt{c}}$$

式中  $c$  为确定单位权时所选定的常数。

最远点的高差中误差按下式计算:

$$m_H = \mu \sqrt{\frac{1}{p_F}}$$

式中  $1/p_F$  为最远点高程的权倒数。

(邢永昌)

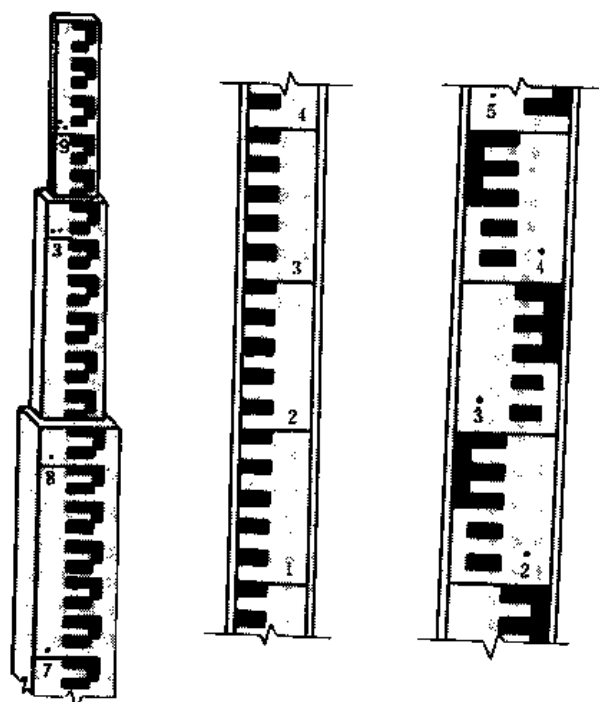
shuizhuncni

**水准尺** (leveling staff) 配合水准仪进行水准测量的标尺。一般长为 3m, 分普通水准尺、精密水准尺两类;

普通水准尺(见图)有单面和双面之分,多用优质

的木料或金属材料制成(参见彩图插页第58页1)。水准尺正面绘有黑白相间的分划,反面绘有红白相间的分划,两面分划零点相差一个常数,用以检核观测时读数有无错误。单面尺又分直尺、折尺和塔尺(三节套接)。

精密水准尺的木质壳内安装一条因瓦合金带尺,尺上绘有线条式1cm或0.5cm的分划(参见彩图插页第58页2)。同一尺上有两排分划,左侧为基本分划,右侧为辅助分划,用作检核读数有无错误。



普通水准尺

水准尺的检校包括如下项目:①水准尺上圆水准器的检校;②水准尺分划面弯曲差的测定;③一对标尺的零点不等差及基、辅分划读数差的测定;④一对标尺名义米长的测定;⑤水准标尺分米分划误差的测定。

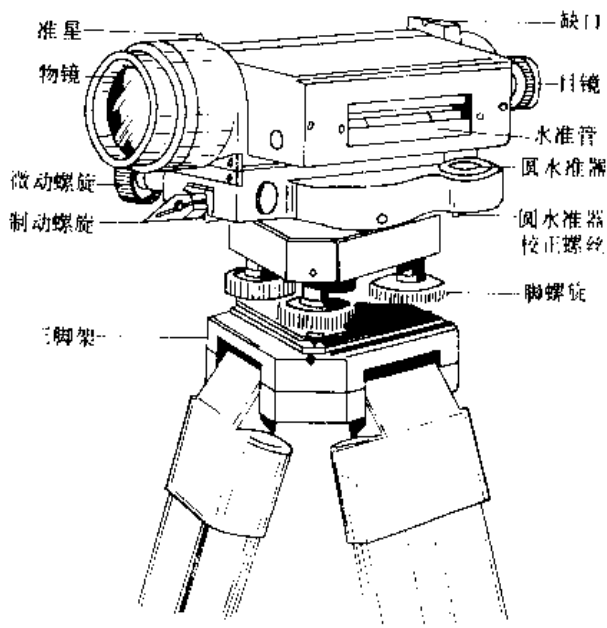
(王明忠)

## shuizhunyi

**水准仪 (level)** 依水平视线测定地面两点间高差的仪器。其主要部件有望远镜、管状水准器(或补偿水准器)和基座。作业时借助水准器(或补偿器),使望远镜视轴水平,配合水准尺,进行水准测量。水准仪按其结构分为微倾斜式水准仪、自动安平水准仪和激光水准仪。

水准仪是在17世纪发明望远镜和水准器后出现的。早期的活镜水准仪,望远镜可以在支架上转动或调头;由于轴颈易于磨损,各轴线的工作关系不如定镜水准仪稳定可靠。20世纪初,在内调焦望远镜和符合水准器的基础上,生产出目前广泛应用的微倾斜式水准仪(见图)。50年代初出现自动安平水准仪,60年代研制出激光水准仪,90年代已出现数字编码型水准仪。

水准仪按精度分为精密水准仪和普通水准仪。水准仪的精度指标以每公里水准测量高差中数偶然中误差表示。中国水准仪系列标准分DS05、DS1、DS3和DS20四个等级。如DS1级水准仪,一公里水准测量高差中数偶然中误差不超过 $\pm 1\text{mm}$ ;望远镜放大倍数不小于38倍;望远镜物镜有效孔径不小于47mm;符合水准管格值为 $10''/2\text{mm}$ 。精密水准仪如DS05和DS1主要用于国家一、二等水准测量和各种精密工程测量(参见彩图插页第53页1)。为了提高读数精度,还具有光学测微装置并配有精密水准尺。



微倾斜式水准仪

**微倾斜式水准仪** 借助微倾斜螺旋获得水平视线的一种常用水准仪(参见彩图插页第52页2)。其构造特点是望远镜与水准管固联。作业时,先用圆水准器将仪器粗略整平,每次读数时借助微倾斜螺旋使水准器在竖直面内俯仰,直到水准器气泡符合居中,视线精确水平。水准仪必须满足水准管轴平行于视准轴这个主要条件(即*i*角的检校)。此外还要使圆水准器轴平行于仪器竖轴,十字丝横丝垂直于仪器的竖轴。

$i$  角检校的基本方法是在地面选择相距约 50m 左右的  $A$ 、 $B$  两点, 先置水准仪于  $AB$  连线的中点, 测得  $AB$  两点间高差  $h = a_1 - b_1$ 。此高差不含  $i$  角的影响。再把仪器置于点  $A$  附近, 测得点  $A$ 、 $B$  间高差  $h' = a_2 - b_2$ 。若有  $i$  角的影响, 则  $h \neq h'$ , 差值超过允许范围时则需校正。校正时, 算出仪器在  $A$  点附近位置瞄准  $B$  点标尺视线水平时的读数  $b = a_2 - h$ , 用微倾螺丝使望远镜十字丝瞄准  $B$  点标尺上的正确读数, 此时视准轴水平, 再校正水准管轴校正螺丝, 使气泡符合居中。重复上述检校, 直到符合要求为止。

**自动安平水准仪** 借助自动安平补偿器获得水平视线的一种水准仪 (参见彩图插页第 53 页 2)。其构造特点是当仪器微倾斜一个小角时, 补偿器在重力作用下使望远镜作相对移动, 能迅速自动地获得视线水平

时的标尺读数。自动安平补偿器按结构可分为活动物镜、活动十字丝和悬挂棱镜等各种。补偿器有一个“摆”, 望远镜视线略有倾斜时, 即产生摆动。为使“摆”的摆动尽快稳定, 必须装有空气阻尼器或磁力阻尼器。作业时, 只要使圆水准气泡居中, 即可读数。该仪器操作简便, 精度稳定, 适应在多风和气温变化大的地区作业。

**激光水准仪** 利用激光束代替人工读数的一种水准仪。由激光器发出激光束导入望远镜筒内, 使其沿视准轴方向射出水平激光束。如在前、后水准尺上配备能自动跟踪的光电接收靶, 即可进行水准测量。在施工测量和大型构件装配中, 常用激光水准仪建立水平面或水平线。

(王明志)



## T

tielu chenxian celiang

**铁路沉陷测量** (railway line subsidence survey)

为了解铁路下采煤时路基和钢轨的移动和变形,随时掌握其动态,为铁路维修提供资料,而对设置在路基和钢轨上的一组测点(站)所进行的测量。

**观测站设置** 铁路观测站一般由两条观测线组成。一条设置在路肩上,称路基观测线;一条在钢轨上设标记测点,称轨道观测线。根据实际需要还可设地表移动盆地的走向和倾向观测线。

**路基观测线至钢轨的距离**要尽可能小,一般为1.5~2.0m,必须设在铁路建筑接近限界以外,并考虑线路维修起垫道碴时测点不至于被埋没和便于观测。当测点无法避免被埋没时,应将原测点接高或另埋新点,但必须与原测点连测。

**轨道观测点间的距离**,对有缝线路的直线段一般为一节或两节轨的长度,在钢轨编号处的轨头外侧面标记测点。在曲线段轨道观测点与轨道正矢点对应,每10m或20m标记一个测点。路基观测点的位置应与轨道观测点相对应。

**观测时间** 铁路观测站应每隔1~2个月进行一次全面观测。全面观测包括高程测量、平面测量、轨缝测量和曲线正矢测量,以求得三个向量的移动和变形值。根据下沉速度和维修需要可以加密观测次数。为及时掌握线路的下沉情况,根据维修的需要,在两次全面观测之间定期进行水准测量。对路基附近出现的裂缝也应及时测量并记录。

**高程测量** 为了测得在采动期间路基和钢轨的下沉、倾斜和曲率,观测时各控制点和观测点的高程测量应组成水准闭、附合线路,按三等水准测量的要求进行观测,经平差后求得各点的高程。测得高程与采动前该点的原始高程之差,即为下沉值。根据下沉值和点间距离计算倾斜和曲率值。

**平面测量** 首先观测路基观测点的平面位移,再根据路基观测点测得钢轨的平面位移。平面位移可分为沿铁路线路方向的纵向水平位移和垂直铁路线路方

向的横向水平位移。路基观测点平面位移的观测方法:对于线路直线段,可进行边长测量,计算求得纵向水平位移;进行支距测量求得横向水平位移。对于线路曲线段,可进行导线测量或导线测量加边长测量和支距测量,测得观测点的坐标,计算求得纵向和横向的水平位移。

钢轨测点平面位移的观测方法是以已知的路基观测点的平面位置为基础,用木质丁字尺按图1所示的方法进行测量。图中 $A$ 为路基点; $A'$ 为轨道点; $A$ 与 $A'$ 沿线路方向的距离 $a$ 称为点纵距;垂直线路方向的距离 $b$ 称为点横距。在读 $b$ 值时,用水准器将尺置平,使垂球对准路基点 $A$ ,用垂球线在尺上读数。也可测斜距,再用两点的已知高差,进行倾斜改正,求得水平距离 $b$ 值。

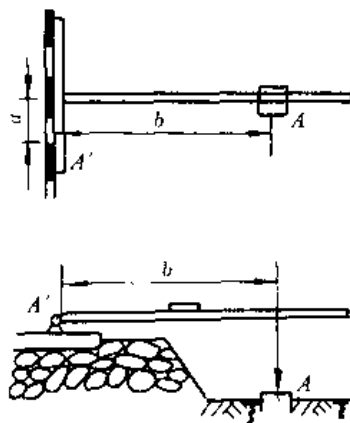


图1 轨道点平面位置的观测

在图2中, $A$ 和 $A'$ 分别为路基点和轨道点移动前的位置; $A_i$ 和 $A'_i$ 分别为移动后第 $i$ 次观测时路基点和轨道点的位置; $a$ 和 $b$ 分别为首次观测时的点纵距和点横距; $a_i$ 和 $b_i$ 分别为第 $i$ 次观测时的点纵距和点横距; $u$ 和 $v$ 分别为路基点的纵向和横向移动; $u'$ 和 $v'$ 分别为轨道点的纵向和横向移动。从图中关系可得:

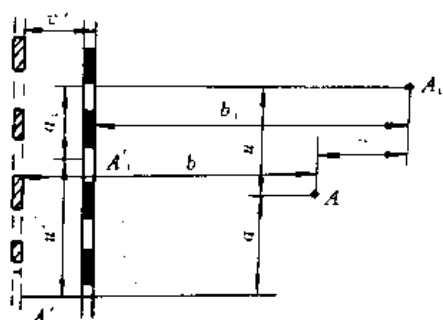


图2 轨道点移动量的计算

$$u' = a + u - a_1$$

$$v' = b + v - b_1$$

**轨缝测量** 用有刻划的楔形钢板尺测量,同时必须测量轨温。用轨温计算得到的标准轨缝值与实测轨缝值之差,即为轨缝偏差值。

**曲线正矢测量** 为了测得在采动期间线路曲线段弯曲度的变化,在外轨内侧轨面下16mm处设置正矢点,其间距一般为20m。测量时用20m长弦线的两端紧贴相邻两正矢点,然后测量弦线中点至钢轨内侧轨面下16mm处的垂直距离,即为正矢。

(虞万波)

## tuoluo jingweiyi

**陀螺经纬仪 (gyro-theodolite)** 将陀螺仪和经纬仪结合成一体,能直接测量真北方位的定向仪器。陀螺高速旋转时,由于受地球自转的影响,陀螺轴绕测站子午线作简谐摆动。通过对摆动的观测,可确定测站的真北方向。再用结合在一起的经纬仪测量某边的方向值,即可推算该边的真方位角。

1852年,法国人傅科(J. B. L. Foucault)提出地球的自转会在陀螺仪上产生效应的设想:“无需进行任何天文观测或地磁观测,只要由陀螺仪观测就可以得出任何地点的子午线位置”。由于受当时技术条件的限制,傅科的实验未能获得预期效果。19世纪初,研制成功陀螺罗盘作为航海导航仪器。20世纪50年代,研制成功液浮式矿用陀螺罗盘仪。60年代,在矿用陀螺罗盘仪的基础上发展成陀螺经纬仪,其中较大的改进是利用金属悬挂带把陀螺灵敏部置于空气中。在发展的初期,将陀螺仪悬挂在经纬仪空心竖轴之下,悬挂带固定端与经纬仪的壳体相固联,称为下架式陀螺经纬仪。70年代,发展成将陀螺仪用专用桥式支架跨放、连接在经纬仪支架上,称为上架式陀螺经纬仪。陀螺仪的

电源由蓄电池和逆变器组成。上架式陀螺经纬仪的特点是体积小,重量轻,观测时间短,便于操作和携带,适应煤矿井下作业条件,而且陀螺仪取下后,经纬仪还可单独作为测角仪器使用。70年代后期,德国、瑞士、匈牙利、前苏联等国家把自动控制技术和电子计算机引进陀螺经纬仪,研制出自动化陀螺经纬仪。80年代,研制成数字化陀螺经纬仪。它的特点是可以直接测定测线的方位角和待定点的坐标,敷设光电测距—陀螺定向导线,满足高精度工程测量的要求。

上架式陀螺仪 由灵敏部、观测系统、锁紧限幅机构及外壳组成(图1)。

(1) 灵敏部。包括陀螺马达、陀螺房和悬挂装置,是陀螺仪的核心。陀螺马达装在密封的充氮的陀螺房中,通过悬挂柱由悬挂带悬挂起来,用两根导流丝和悬挂带及旁路结构给陀螺马达供电。在悬挂柱上装有反光镜。

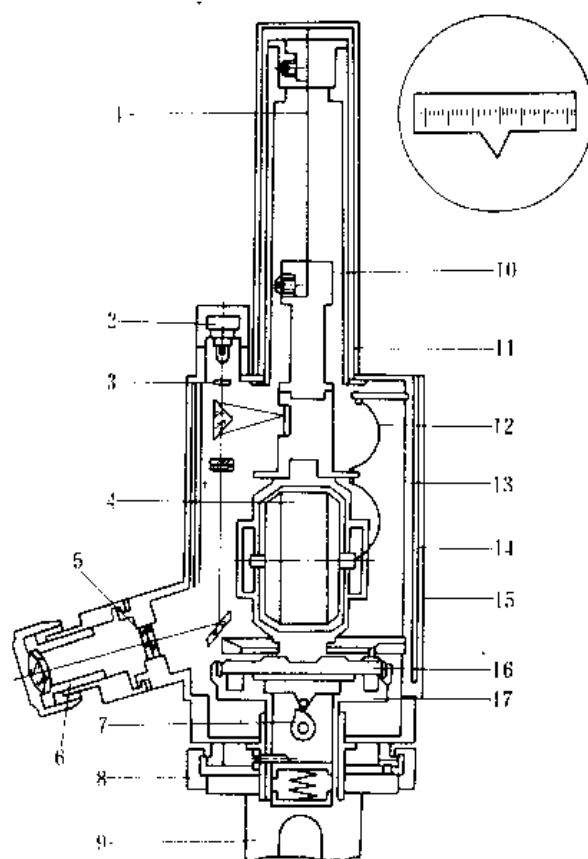


图1 上架式陀螺经纬仪结构

1—悬挂带;2—照明灯;3—光标;4—陀螺马达;5—分划板;6—目镜;7—锁紧限幅机构;8—螺纹压环;9—桥形支架;10—悬挂柱;11—上部护罩;12—导流丝;13—支承壳体;14—磁屏蔽罩;15—外壳;16—灵敏部底座;17—托盘



(2) 观测系统。用于观测灵敏部的摆动。由固连在支架上的光标经反光棱镜、反光镜反射后,再通过物镜组成象在带有刻划的目镜分划板上,观测光标象在目镜视场内的摆动。

(3) 锁紧限幅机构。作用是使陀螺仪灵敏部托起(锁紧)或下放(摆动)。

(4) 外壳内壁和底部装有磁屏蔽罩,用于防止外界磁场的干扰。

陀螺仪工作原理 陀螺仪具有定轴性和进动性两个基本特性。

(1) 定轴性。有三个自由度的自由陀螺仪,陀螺轴( $x$ 轴)高速旋转,不受外力作用时, $x$ 轴的指向始终恒定。陀螺高速旋转,陀螺轴不受外力矩作用时,陀螺轴始终指向初始方向(图2)。转动陀螺仪基座时,陀螺轴在空间的初始方向不变。

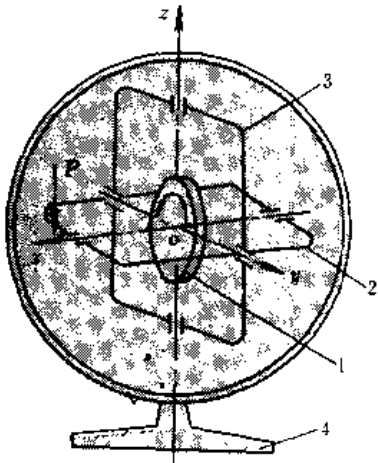


图2 自由陀螺仪工作原理示意图  
1—陀螺转子; 2—内环; 3—外环; 4—基座

(2) 进动性。陀螺高速旋转时,在陀螺轴上加一外力 $p$ ,产生一个外力矩,则陀螺轴将绕与 $y$ 轴相垂直的 $z$ 轴旋转,即“进动”。

悬挂式陀螺仪有两个自由度:陀螺绕 $x$ 轴(自转轴)旋转的自由度及陀螺轴绕 $z$ 轴转动的自由度,陀螺轴受重力作用处于水平位置。当陀螺转子高速旋转时,其轴指向初始方向,并力图维持它的“定轴性”。但是由于地球自转的作用,地平面东降西升,陀螺轴相对地平面发生高度变化;而陀螺房系统的重心又在悬挂点之下,重力又迫使陀螺轴维持在水平方向,从而产生一个外力矩(重力矩)作用在陀螺房上;由于陀螺的进动性,陀螺的动量矩方向(即陀螺轴正端)将绕 $z$ 轴向外力矩方向进动,陀螺轴就不断寻北。当陀螺轴绕 $z$ 轴进动到真北方向时,由于陀螺动量矩方向与重力矩方向

并不重合,陀螺轴不能停在真北方向,而是远离真北方向继续进动。到达一定位置时,由于陀螺轴相对地平面高度的变化,造成重力矩方向改变,陀螺轴又向真北方向进动。结果就构成了一个围绕地球子午线的往复运动,其摆动中心线理论上即为真北方向(图3)。在任意站上(除纬度 $75^\circ$ 以上外),可通过对陀螺轴摆动的观测,测定该测站的真子午线位置,从而可推算观测方向的真方位角。

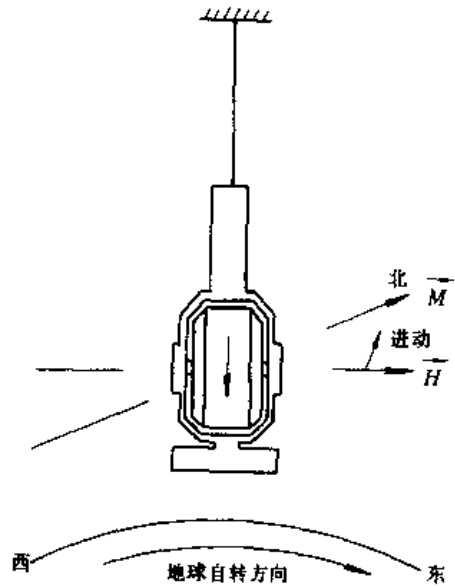


图3 陀螺轴寻北原理

通过陀螺仪的观测系统,采用逆转点法或中天法(见陀螺经纬仪定向)等来观测陀螺轴的往复摆动,就能确定陀螺轴的摆动中心线(真北方向)。

陀螺经纬仪在使用前,应依照仪器使用说明书和有关规程的要求,进行检验和校正。

(张鸣权)

## tuofuo jingweiyi dingxiang

### 陀螺经纬仪定向 (gyroscopic orientation survey)

用陀螺经纬仪确定定向边方位角的测量,简称陀螺定向。上架式陀螺经纬仪由于制造上的缺陷,通过目镜观测得到的陀螺轴摆动平衡位置(称陀螺子午线方向)与过测站的真子午面并不重合,故只能测量以陀螺子午线为准的陀螺方位角。某边陀螺方位角是通过测定陀螺子午线方向值与某边方向值之差求得。陀螺方位角与某边真方位角之差(即陀螺子午面与真子午面的二面角)叫仪器常数。每次定向都要测定仪器常数;在定向边上测出陀螺方位角,经过计算求得定

向边的坐标方位角。

陀螺经纬仪定向可用于：为井下某一水平定向；在经纬仪导线中每隔一段距离测一条导线边的坐标方位角，使导线成为方向附合导线，可控制测角误差的积累；矿山、隧道等大型地下工程测量的定向；在荫蔽地区测量的定向。

立井定向测量需要传递坐标时，在井筒中悬挂一根钢丝垂线，地面测出该钢丝的坐标；井下在钢丝垂线与陀螺定向边之间测设导线，按导线计算方法计算该导线各点的坐标。

陀螺定向的外业观测，主要是测某边的陀螺方位角。为了求得井下某导线边的坐标方位角，须按一定的定向程序进行。

#### 定向程序

(1)在地面已知坐标方位角边上测定仪器常数。将陀螺经纬仪安置在地面近井点  $C$  上(图 1a)，测出  $CD$  边的陀螺方位角  $T_{CD}$ ，已知  $CD$  边的坐标方位角  $\alpha_{CD}$ ，则仪器常数  $\Delta$  为：

$$\Delta = A_{CD} - T_{CD} = \alpha_{CD} + \gamma_C - T_{CD}$$

式中  $\gamma_C$  为  $C$  点子午线收敛角，根据  $C$  点高斯平面直

角坐标求得。 $C$  点在中央子午线以东  $\gamma_C$  为正，以西为负。

(2)在井下定向边上测量陀螺方位角。如图 1b， $ab$  为井下定向边，用陀螺经纬仪测出其陀螺方位角  $T_{ab}$ ，则该边的坐标方位角为：

$$\alpha_{ab} = A_{ab} - \gamma_a = T_{ab} + \Delta - \gamma_a$$

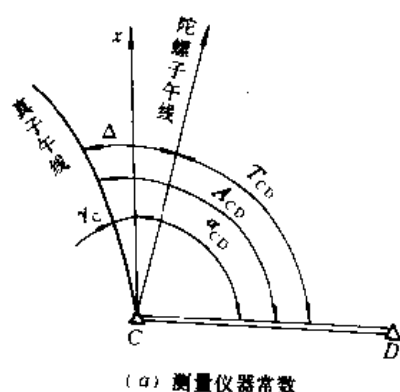
式中  $\gamma_a$  为  $a$  点子午线收敛角。

(3)在地面上再次测定仪器常数，以提高测量精度并进行检核。用仪器常数平均值参与计算。

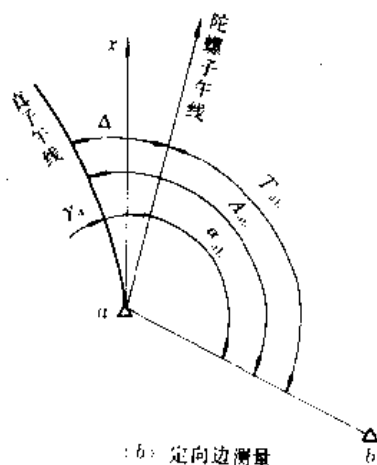
测量陀螺方位角 2~3 次，用两次测量结果的差值进行校核。

陀螺方位角测量 如图 2，陀螺经纬仪安置在测站点  $C$  上，用望远镜照准  $D$  点并读取水平度盘读数  $M$ ，称测线方向值。陀螺运转后，通过陀螺轴的摆动观测，求出望远镜视准轴指向陀螺子午线方向的度盘读数  $N_T$ ，称陀螺子午线（或陀螺北）方向值。该边的陀螺方位角为  $T_{CD} = M - N_T$ 。依测量陀螺子午线方向值  $N_T$  的方法不同，分逆转点法、中天法等。

逆转点法 用陀螺经纬仪跟踪摆动的指标线，读取到达东、西逆转点时度盘上读数的陀螺定向方法。所谓逆转点是指陀螺轴绕陀螺子午线摆动时偏离陀螺子午线最远的东、西位置。观测时，在陀螺处于运转状态下，用经纬仪水平微动螺旋跟踪，使观测目镜分划板零线与摆动指标线随时重合，达到逆转点时读取水平度盘读数  $u_i$  (图 2)。一般连续观测 5 个逆转点的水平度盘读数  $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5$ ，按下式计算陀螺子午线方



(a) 测量仪器常数



(b) 定向边测量

图 1 陀螺经纬仪定向

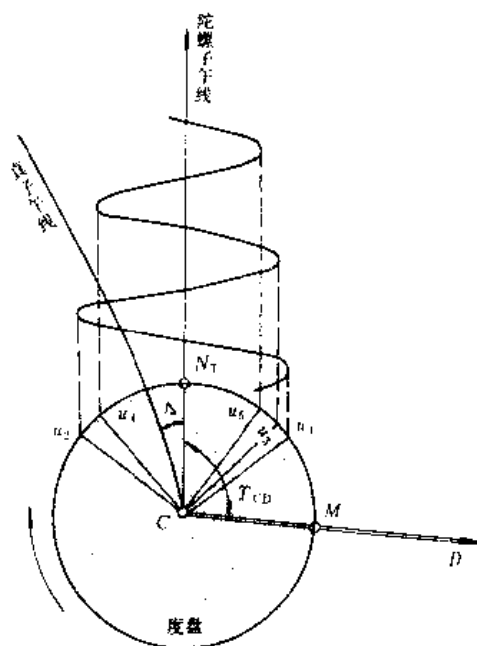


图 2 逆转点法

向值  $N_T$ :

$$N_T = \frac{1}{2 \times 3} \sum_{i=1}^3 \left( \frac{u_i + u_{i+2}}{2} + u_{i+1} \right)$$

中天法 固定陀螺经纬仪照准部, 观测指标线经过分划板零线的时间及最大摆幅值的陀螺定向方法。观测时, 将经纬仪视准轴(观测目镜分划板零线与此轴位于同一竖直面内)固定在近似陀螺北方向, 取水平度盘读数为  $N'$  (图 3)。开动陀螺并下放陀螺灵敏部, 使其处于悬挂状态。由观测目镜观测摆动指标线, 当指标线经“0”分划时启动电子秒表, 读时间  $t_1$  (称中天时间)。指标线西移到逆转点, 在分划板上读摆幅值  $a_w$ 。指标线返回“0”分划时读时间  $t_2$ 。指标线到东逆转点, 在分划板上读摆幅值  $a_E$ 。指标线返回“0”线, 再读时间  $t_3$ 。一般连续观测 5 个中天时间。由于陀螺轴是绕陀螺子午线左右均衡摆动的, 因而可利用所测的左右摆动时间差来计算近似陀螺北偏离陀螺子午线的改正数  $\Delta N$ 。由图 3 知, 两侧摆动时间差  $\Delta t = T_w - T_E = (t_2 - t_1) - (t_3 - t_2)$ , 摆幅值  $a = (|a_w| + |a_E|)/2$ , 则

$$\Delta N = c \cdot a \cdot \Delta t$$

观测 5 个中天时间时, 可计算 3 个两侧摆动时间差, 取其平均值参与计算。

陀螺子午线方向值  $N_T$  为:

$$N_T = N' + \Delta N = N' + c \cdot a \cdot \Delta t$$

式中  $c$  为比例常数, 与当地纬度有关, 可实际测定。将经纬仪望远镜先后置于陀螺子午线以东和以西两个近似陀螺北位置  $N_E'$ 、 $N_W'$ , 用中天法分别测定  $\Delta t_E$ 、 $a_{(E)}$  和  $\Delta t_W$ 、 $a_{(W)}$ , 按下式计算:

$$c = \frac{N_E' - N_W'}{a_{(W)} \cdot \Delta t_W - a_{(E)} \cdot \Delta t_E}$$

以上两种观测方法的精度基本相同。中天法的主要优点是不要进行费力的跟踪操作。照准部固定条件下的观测方法, 除中天法外, 还有时差法、多点测时法、记时摆幅法等。

定向中误差 陀螺定向中误差与陀螺经纬仪的精度和观测次数有关。陀螺经纬仪的精度用一次测量陀螺方位角中误差  $m_{a_0}$  表示, 可根据在同一边上多次测量的陀螺方位角按下式计算:

$$m_{a_0} = \pm \sqrt{\frac{[vv]}{n-1}}$$

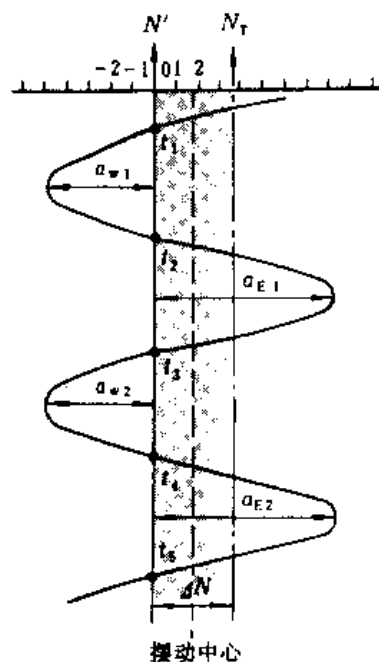


图 3 中天法

式中  $v$  为同一边陀螺方位角的平均值与各次测量值的差数;  $n$  为测量陀螺方位角的次数。

定向中误差即定向边坐标方位角中误差  $m_{a_0}$  按下式计算:

$$m_{a_0} = \pm m_{a_T} \sqrt{\frac{n_{\perp} + n_T}{n_{\perp} \cdot n_T}}$$

式中  $n_{\perp}$  为测定仪器常数的次数;  $n_T$  为测定定向边陀螺方位角的次数。

发展 立井几何定向占用井筒影响生产, 而且工作组织复杂, 精度较低, 特别在井筒深度大时, 更难保证精度。陀螺经纬仪定向可以克服这些缺点, 且可在任一地点进行定向。陀螺经纬仪约在 20 世纪 50 年代研制出来, 并用于矿井定向。中国 70 年代开始用于矿井定向, 80 年代得到很大发展, 现已广泛应用。在保证仪器的稳定性和定向精度的条件下, 仪器向防爆型及小型化、自动化方向发展。

(桑光灿)

# W

weimu zaojingfa shigong celiang

**帷幕凿井法施工测量** (construction survey for curtain wall shaft sinking)

帷幕凿井法施工过程中所进行的测量工作。在立井外围用钻机钻挖槽孔,在槽孔中灌注混凝土,形成封闭的圆筒状混凝土帷幕,在其保护下凿井。测量的目的是保证按设计的要求形成帷幕,使井筒在帷幕中安全施工。主要测量内容有槽孔位置标定、护井施工测量、槽孔施工测量及井筒施工测量。

**槽孔位置标定** 根据设计数据,以井筒中心为圆心,以设计帷幕半径画圆,标出帷幕圈中心线,再按设计分段。各段槽孔上的钻孔位置用极坐标法或线交会法标定(见建井测量)。

**护井施工测量** 以井筒中心为圆心,以内外护井设计半径画圆,在地面标出护井位置。依据井口水准基点,标定模板顶面及底面高程位置并抄平。在外护井外侧的井筒十字中线方向上打4个木桩,于其顶面标出井筒十字中线。对向木桩间拉起钢丝,挂边垂线,找正护井模板的平面位置,检查模板和护井壁的竖直程度。

**槽孔施工测量** 用钻井法施工时,先钻主孔,后钻副孔,再挖掘连通形成槽孔。施工时,应进行单孔测深测斜、槽孔测深测斜和清孔检查测量。

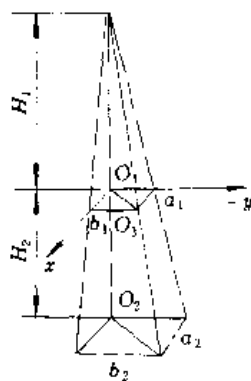
(1) 单孔测深测斜是依据钻具和钢丝绳的位置来测量的。先将钻头放入孔内没入泥浆,沿钻孔中心 $O_1$ 与井筒中心连线( $x'$ 轴)方向上量取距钢丝绳中心 $O_2$ 的距离 $a$ (见图);然后下放钻头至需测深度,此时钢丝绳在孔口平面(泥浆面)的位置为 $O_3$ ,在测深水平位置为 $O_4$ 。以 $O_2$ 为原点, $O_2$ 与井筒中心连线为 $x'$ 轴,过 $O_2$ 帷幕圈切线方向为 $y'$ 轴建钻孔坐标系。在该坐标系中量得 $O_3$ 的坐标值为 $a_1$ 、 $b_1$ ;在提钻时,丈量钢丝绳和钻具长度即测深 $H_2$ ,钻塔高度 $H_1$ ;计算测深处钻孔在 $x'$ 、 $y'$ 方向上的偏值 $a_2$ 、 $b_2$ ,即

$$a_2 = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot a_1$$

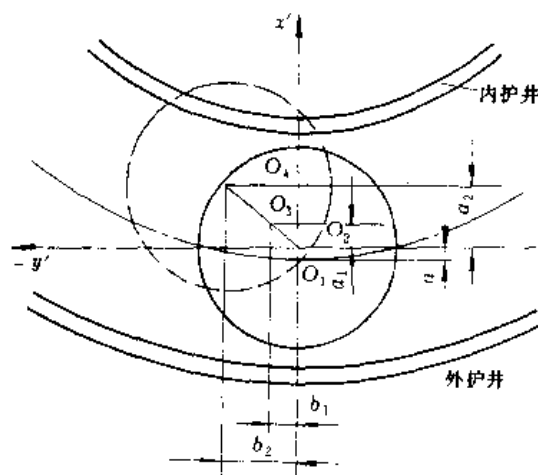
$$b_2 = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \cdot b_1$$

偏斜率

$$i = \frac{\sqrt{a_2^2 + b_2^2}}{H_1 + H_2}$$



(a) 钻孔偏斜透视图



(b) 钻孔偏斜平面图

单孔测斜原理及计算示意图



若  $i$  大于设计值, 需纠偏。

(2) 槽孔测深测斜是指对槽孔内各主副单孔进行测深测斜, 方法同上。根据测斜成果绘制槽孔交圈图。方法为在平面图上先绘出井筒中心及井筒十字中线, 再绘出各钻孔位置及其坐标系。根据槽孔终孔测斜值绘出各钻孔孔底位置, 以此为圆心, 按钻孔半径画圆, 擦去重叠部分即得帷幕交圈图。

井筒施工测量 在帷幕圈内掘凿井筒的测量工作(见立井施工测量)。

(刘 林)

wucha tuoyuan

**误差椭圆** (error ellipse) 表示待定点的坐标平差值在平面的各个方向的误差分布状况为椭圆。

在测量中, 由于观测值总是带有随机误差, 使根据观测值经过平差求得的待定点的点位并不是点的真正位置, 两者之差称为点位真误差, 简称真位差。如图 1,  $P$  为待定点的真位置,  $P'$  为经过平差求得的点位估值,  $\Delta P$  即为真位差。不同的子样观测值产生不同的真位差。根据误差分析可知, 不同方向上的点位中误差, 即位差可依下式计算:

$$m_{\varphi}^2 = m_0^2(Q_{xx}\cos^2\varphi + Q_{yy}\sin^2\varphi + Q_{xy}\sin 2\varphi)$$

式中  $\varphi$  为欲求位差方向的方位角;  $m_0$  为单位权中误差;  $Q_{xx}$ 、 $Q_{yy}$ 、 $Q_{xy}$  为协因数阵中的元素。以不同的  $\varphi$  和  $m_0$  为极坐标的点的轨迹为一闭合曲线, 如图 2, 称为误差曲线或精度曲线。任意方向  $\varphi$  上的向径  $\overline{OP}$  就是该方向的位差  $m_{\varphi}$ 。误差曲线直观、形象地反映了点位误差在各个方向上的分布状况, 在控制网优化设计、工程测量、贯通误差预计等项工作中得到广泛应用。

鉴于误差曲线不是一种典型曲线, 作图也不方便, 其形状又似椭圆, 故实用上常以椭圆代替曲线, 并称为误差椭圆。

**误差椭圆元素** 误差椭圆的长半轴  $E$  (点位差极大值)、短半轴  $F$  (点位差极小值) 及长半轴的方位角  $\varphi_E$  分别按下式求得:

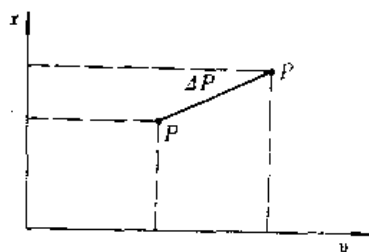


图 1 点位中误差示意图

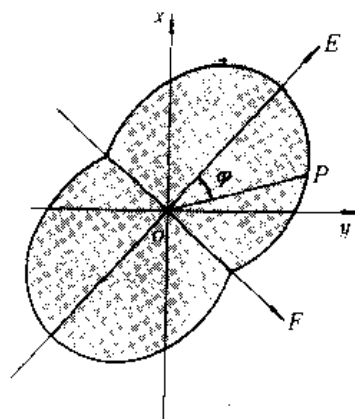


图 2 误差曲线

$$E^2 = m_0^2 \frac{Q_{xx}x_1 + Q_{yy}y_1 + \sqrt{(Q_{xx}x_1 - Q_{yy}y_1)^2 + 4Q_{xy}^2}}{2}$$

$$F^2 = m_0^2 \frac{Q_{xx}x_1 + Q_{yy}y_1 - \sqrt{(Q_{xx}x_1 - Q_{yy}y_1)^2 + 4Q_{xy}^2}}{2}$$

$$\tan 2\varphi_E = \frac{2Q_{xy}}{Q_{xx} - Q_{yy}}$$

式中  $m_0$  为单位权中误差;  $Q$  为协因数阵的元素;  $\varphi_E$  为椭圆长半轴的坐标方位角, 当  $Q_{xx}y_1$  为正值时, 长轴方位角  $\varphi_E$  在第一、三象限, 短轴方位角  $\varphi_F$  在第二、四象限;  $Q_{xx}y_1$  为负时,  $\varphi_E$  在第二、四象限,  $\varphi_F$  在第一、三象限。

**误差椭圆的绘制** 以图 3 为例,  $P$  为待定点, 过  $P$  点作坐标轴  $x$ 、 $y$ , 根据  $\varphi_E$  画出长半轴方向  $Pe$ , 过  $P$  点作  $Pe$  线的垂线  $Pf$  为短半轴方向。以  $P$  为圆心, 分别以长半轴  $E$ 、短半轴  $F$  为半径, 按一定比例尺画大小圆。将  $\angle ePf$  按一定角度 (通常取  $30^\circ$ ) 等分, 等分

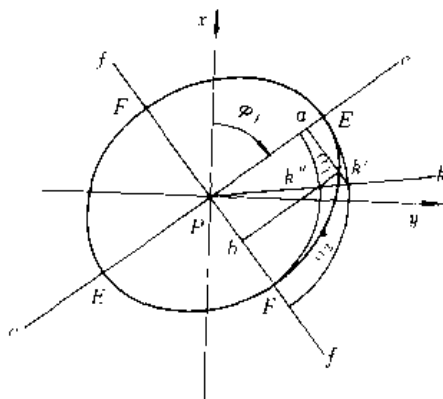


图 3 误差椭圆图绘制法

线分别与大小圆相交于  $k'$ 、 $k''$ 。过  $k'$  作  $Pe$  的垂直线  $k'a$ ，过  $k''$  点作  $Pf$  的垂直线  $k''b$ ， $k'a$  与  $k''b$  之交点  $O_1$  即为椭圆上的一点。如此可以作出其他点  $O_2$ 、 $O_3$ ……，最后用光滑曲线将  $O_1$ 、 $O_2$ ……点连接起来即为误差椭圆。

相对误差椭圆 表示任意两个待定点之间相对位置的精度情况。相对误差椭圆元素按下式求得：

$$E^2 = m_0^2 \frac{Q_{\Delta x \Delta x} + Q_{\Delta y \Delta y} + \sqrt{(Q_{\Delta x \Delta x} - Q_{\Delta y \Delta y})^2 + 4Q_{\Delta x \Delta y}^2}}{2}$$

$$F^2 = m_0^2 \frac{Q_{\Delta x \Delta x} + Q_{\Delta y \Delta y} - \sqrt{(Q_{\Delta x \Delta x} - Q_{\Delta y \Delta y})^2 + 4Q_{\Delta x \Delta y}^2}}{2}$$

$$\operatorname{tg}^2 \varphi_E = \frac{2Q_{\Delta x \Delta y}}{Q_{\Delta x \Delta x} - Q_{\Delta y \Delta y}}$$

式中  $Q_{\Delta x \Delta x} = Q_{x_k x_k} + Q_{x_{i_1} x_{i_1}} - 2Q_{x_k x_{i_1}}$ ； $Q_{\Delta y \Delta y} = Q_{y_k y_k} + Q_{y_{i_1} y_{i_1}} - 2Q_{y_k y_{i_1}}$ ； $Q_{\Delta x \Delta y} = Q_{x_k y_k} - Q_{x_k y_{i_1}} - Q_{x_{i_1} y_k} + Q_{x_{i_1} y_{i_1}}$ 。

误差椭圆的应用 利用误差椭圆和相对误差椭圆可以图解点位纵横坐标中误差、点位中误差、待定点至已知点的边长中误差及方位角中误差、待定点至待定点的边长中误差及方位角中误差、相邻点点位纵横坐标中误差、相邻点相对点位中误差、重要方向上的位差、任意方向上的中误差等各种待评元素的精度。

(邢永昌)



# X

xuangua luopany

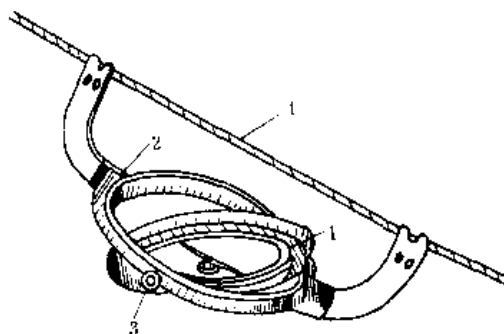
**悬挂罗盘仪** (hanging compass) 有悬挂装置的测定磁方位角或磁象限角的仪器。磁方位角是从地面点上某点磁子午线北端起顺时针量至目标方向的水平角,角值自  $0^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 。磁象限角则是由磁子午线北端或南端起量至目标方向的锐角,角值  $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 。某直线的磁象限角尚需注明“北东”、“北西”、“南东”、“南西”字样,以表示该直线的方位。

悬挂罗盘仪主要用于井下不受磁性物质影响的条件下标定巷道开口方向和测量罗盘仪导线。矿用悬挂罗盘仪(见图)通过水平旋转轴与悬挂架吊挂在两测点连线的线绳上,罗盘盒借助自重保持水平位置。罗盘盒刻度按逆时针方向由  $0^{\circ}$  增大到  $360^{\circ}$ ,最小分划为  $30'$ ,在  $0^{\circ}$  与  $180^{\circ}$  位置分别注有北(N)和南(S)字样。 $0^{\circ}$  与  $180^{\circ}$  连线与悬挂钩方向一致。度盘中心有一顶针,用以支承磁针并使它能自由转动。罗盘盒底有一制动螺丝,可制动磁针。

悬挂罗盘仪应进行检校达到下列要求:磁针应该灵敏;磁针应处于水平位置;支承磁针的顶尖应处于度盘中心;度盘  $0^{\circ}$  与  $180^{\circ}$  连线应与两挂钩连线位于同一

竖直面内。

每个悬挂罗盘仪在使用前应测定本矿或某采区的磁偏角  $\delta$ ,在地面或井下,选择  $n$  条不受磁性物质影响的已知边,这些边的坐标方位角为  $\alpha_i$ ,用悬挂罗盘仪以正反两个方向测定这些边的磁方位角为  $\alpha'_i$ ,则磁偏角  $\delta = \Sigma(\alpha_i - \alpha'_i)/n$ 。



悬挂罗盘仪

1—罗盘盒; 2—悬架; 3—螺丝; 4—线绳

(王明忠)

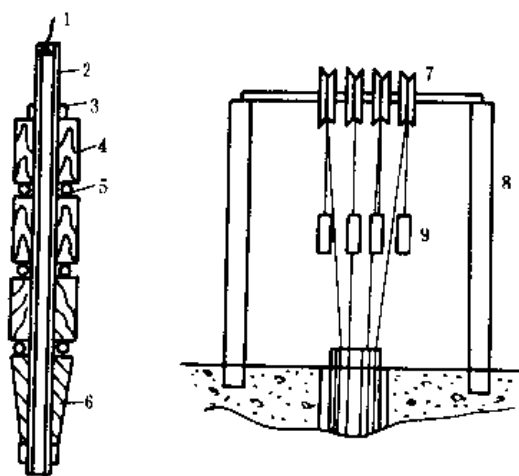
## Y

yanti neibu yidong celiang

**岩体内部移动测量** (survey for internal movement of rock mass)

定期测量设在岩体内部一组测点受采矿影响引起的相对或绝对位移量的工作,目的是研究煤层开采后覆岩移动规律。按观测手段和方法不同,分为巷道观测和钻孔观测。

**巷道观测** 测定埋设在回采工作面上方的石门或大巷内一组测点的高程和水平距离,研究在进行采矿过程中回采空间周围岩层移动和变形规律。观测巷道应尽量和地表移动观测线位于同一竖直面上。观测线布成直线,其长度应超过采动影响范围以外一段距离,测点间距一般为5~15m。根据需要也可在观测巷道的顶底板或两帮设对应点测定围岩的移近量。记录巷道内出现的裂缝位置、大小和走向等资料。为研究煤层采动后底板岩层移动规律,解决承压水上安全开采和开拓巷道的布置问题,可在底板岩层内开掘巷道进行观测。



钻孔观测装置

- 1—钢丝; 2—钢管; 3—螺母; 4—压缩木;  
5—铁环; 6—重锤; 7—滑轮; 8—观测架;  
9—平衡锤

**钻孔观测** 测定在钻孔内按预定的位置埋设深部测点移动的工作。了解采动后上覆各岩层开始位移时间、位移量及速度等特征,以掌握覆岩破坏活动规律。深部测点是根据压缩木遇水膨胀的特性,用压缩木制成测点设置在钻孔内预定位置。钻孔内可设置一个或几个测点,测点间距一般为5~15m。每个测点用钢丝连接,沿钻孔引至地面孔口的滑动架上(见图),通过钢丝传动装置,在孔口直接测量各测点相对于孔口的位移量。由于钻孔口本身在移动区内,所以在测定深部测点相对于钻孔口移动的同时,还需与埋设在非移动区的基准点联测方可求得绝对移动量。

(高德福)

yaogan tuxiang zhitu

**遥感图象制图** (image mapping of remote sensing)

在指定的区域内,根据专业的需要,处理和判读遥感图象,制作或更新地图和专题图的技术。遥感图象制图成果包括:地形图、各种专题地图和影象地图等。遥感是获取信息资源的一种手段。遥感图象制图技术使传统的地图制图学从制图理论、表示内容、信息提取方法和手段到编制工艺和印刷技术都产生深刻的变革,使之逐渐发展成为现代制图学的一个分支——遥感制图学。

**遥感图象资料**

**航空遥感和航天遥感** 航空遥感是指从飞机、飞艇、气球等(称航空遥感平台)获取地面几何与物理信息。航空遥感平台的高度一般为几百米至几十公里,获取的图象信息分辨率高,几何保真度较好,信息量丰富,资料回收方便。可根据需要选择飞行时间、区域和成象比例尺,特别适合于对局部区域的资源和环境进行详细研究。航天遥感又称太空遥感或卫星遥感,泛指以太空飞行器为平台的遥感技术。用于地球资源和环境调查的卫星轨道高度一般为几公里至几万公里。航天遥感所取得的图象资料用于研究大区域的目标,进行动态监测。



遥感图象资料的种类 遥感资料主要分为图象资料和非图象资料两大类。图象资料是指以影象形式记录下来的遥感信息。其形式有黑白正、负透明片和彩色透明片、黑白和彩色象片等。图象资料又可分为摄影象片和非摄影象片两大类。其中摄影象片又有常规摄影象片(如可见光黑白象片、彩色象片)和非常规摄影象片(如彩色红外摄影象片、多波段摄影象片、紫外摄影象片等)之分。非摄影图象资料包括热红外扫描图象、多波段扫描图象、微波辐射扫描图象和雷达图象等。非图象数据资料是以数字或图表形式记录下来的遥感信息。这种信息通常记录在磁带上。

目前,最常用的遥感资料是航空象片和卫星图象。遥感资料的主要形式是图象和磁带,且以图象资料占绝大部分。图象信息直观、逼真,可直接进行目视判读和量测,应用方便、广泛。磁带是数字形式的遥感信息。图象信息与磁带数字信息之间可以通过模/数(A/D)或数/模(D/A)相互转换。

在矿区,应用价值较高的遥感图象资料为黑白航空象片、彩红外航空象片、航空热红外扫描图象、微波遥感图象、卫星遥感图象。

(1) 黑白航空象片。这种象片影象清晰,几何关系明显,成本较低,对大中小比例尺成图和多时相动态监测具有重要作用。

(2) 彩红外航空象片。它由感红外(0.69~0.80 $\mu\text{m}$ )、红(0.58~0.69 $\mu\text{m}$ )和绿(0.50~0.58 $\mu\text{m}$ )三种光的胶片,经摄影、冲洗、晒印等工序而得到(参见彩图插页第49页)。彩红外象片上的影象颜色,实质上是由地物对红外光、红光和绿光三个波段的平均反射特征决定的。这种象片既有可见光信息,又有近红外信息,并且由于它不受大气对蓝紫光散射的影响,所以比普通天然彩色象片的颜色鲜艳,色差大。

彩红外航空象片除具有比例尺较大的优点外,其地面分辨率也很高。象片的分辨率通常以“线对/mm”为单位。从线对分辨率换算成地面分辨率可用 $R_s = R_s f / H$ ,式中 $R_s$ 是以线对表示的地面分辨率; $H$ 为相对航高,m; $R_s$ 为航空象片分辨率,线对/mm; $f$ 为摄影机焦距,mm。为便于与航天遥感的空间分辨率比较,上述公式可改写为:

$$D = \frac{1}{2R_s} = \frac{H}{2R_s f} = \frac{M}{2000R_s}$$

式中 $D$ 为最小地面间隔,m; $M$ 为象片比例尺的分母。表中的数字是以航空象片分辨率分别为40和100线对/mm,在不同象片比例尺时用上式计算出的最小地面间隔 $D$ 值。彩红外航空象片除可用作矿区大、中比例尺成图外,在矿区土地分类、环境监测、评价和治理,

开采沉陷状况调查和整治等方面均可获得广泛应用。常用摄影比例尺为1:1万~1:10万,有时还需要大于1:1万的比例尺。

不同比例尺航空象片的最小地面间隔(D)

| 象片比例尺  | 最小地面间隔(m)  |             |
|--------|------------|-------------|
|        | 40 (线对/mm) | 100 (线对/mm) |
| 1:1万   | 0.125      | 0.031       |
| 1:2.5万 | 0.312      | 0.078       |
| 1:5万   | 0.625      | 0.156       |
| 1:10万  | 1.250      | 0.312       |

(3) 航空热红外扫描图象。将飞行时记录的磁带经扫描系统回放而获得的黑白模拟图象,是地物的红外辐射能量以亮度表示的一种图象化显示形式。它主要反映各种地物表面的温度差异和发射特性,且发射能量的波长主要处于3 $\mu\text{m}$ 以上的中远红外波区,故通称热红外图象。红外图象的不同密度代表不同的辐射等效温度。正片上暗黑区表示物体的热辐射较微弱(物体表面温度较低),明亮区表示热辐射较强(物体表面温度较高)。在矿区应用热红外遥感比较有效的方面有:热污染源、污染区调查,煤堆、研石山自燃和地表热源分布监测,地下自燃区域范围的圈定,地下水资源探查等。

(4) 微波遥感图象。利用微波遥感技术探测物体反射或发射微波能量所形成的图象。按所用微波遥感器工作方式的不同,分主动式和被动式两种。主动式微波遥感器能接收遥感器发出的被物体反射回来的回波,其中最重要的是真实孔径侧视雷达和合成孔径侧视雷达。被动式微波遥感器能接收物体自身发射出的微波,如微波辐射计、多通道微波扫描辐射计等。图象灰度是区分不同目标的主要判读标志。通用雷达图象的工作波段为:Ka波段(0.8~1.1cm)、X波段(2.4~3.8cm)和L波段(15.0~30.0cm)。工作波长越长,穿透地表沉积物、沙土、冰雪的能力越强。微波遥感可以全天候工作,对云层、烟雨、植被、冰雪和沙土有一定的穿透能力,可以获得近地表以下的信息,不足之处是空间分辨率较差,判释技术较复杂。

(5) 卫星遥感图象。具有波段多、信息量大、能周期性成象等优点,已成为矿区遥感应用的重要辅助信息源或补充信息源,有时可以是主要信息源。目前,利用最多的卫星遥感图象资料是:美国陆地卫星 Landsat4、5号的MSS(多光谱扫描仪)和TM(专题制图仪)的数字磁带,TM的地面分辨率为30m;法国



SPOT 卫星的 HRV (高分辨率可见光传感器) 多光谱数字磁带的地面分辨率为  $10\sim 20\text{m}$ 。前苏联的卫星遥感资料也可利用,其地面分辨率可达  $10\sim 15\text{m}$  和  $5\sim 6\text{m}$ 。中国卫星图象的地面分辨率可达  $10\sim 15\text{m}$ 。

**遥感图象制图** 遥感图件以其丰富的地面信息、真实的地理内容、现代化的成图方法和崭新的地图形式,使地图制图学发展到一个新阶段。

**种类** 可以分为遥感图象的数字处理与制图和遥感图象常规制图两大类。前者是以遥感数字图象为基础,结合其他地图资料和地物光谱数据,借助计算机数字图象处理硬、软件系统,进行图象数字的辐射校正、几何纠正,影像增强、变换、放大,图象分类,图象要素的分析、识别、提取,最后产生新的地图产品;后者是指利用遥感图象和数字 CCT (计算机兼容磁带),借助计算机和常规方法制图。图件种类主要有:影像地图、影像镶嵌图、地形图、专题地图、系列地图以及用数字化数据建立和更新的地图库。

**图象精度和几何纠正** 图象的几何精度包括点位精度和重叠精度,以中误差表示。点位精度是指图象上的点与实地对应点之间的平面点位误差;重叠精度是指同一地区两幅不同时相或不同光谱段的图象上同名点之间的重叠误差。卫星遥感图象由于空间分辨率较低,目前尚不宜用作大、中比例尺成图,可以用于修测地形图,特别是提取比较清楚可辨的某些水文、道路、铁路要素等。

制图时,为提高图象的几何精度,均需对图象的几何畸变进行纠正。基本方法有两种:①模拟几何纠正,是根据常规光学模拟原理和利用光学机械设备的纠正方法。常用的方法有:控制点纠正、分带纠正、模拟微分纠正;②数字几何纠正,是利用电子计算机对图象数据进行几何处理的纠正方法,工作过程包括:图象数字化、建立数学模型作象元几何纠正和亮度值重新分配。

**投影变换** 包括空间投影变换和图象投影变换。

(1) 空间投影变换。主要采用中心投影、等焦距圆柱投影和多中心(或拟多中心)投影三种方式。卫星与地球是相对运动,新的地球投影概念是以惯性空间定义的。为了精确制图的需要,必须设计和选择能适合于地球自转和卫星轨道成象相互运动的图象投影。主要的空间投影有:空间斜墨卡托投影(SOM)、空间正形斜圆锥投影(SOCC)和卫星轨迹投影(STP)。SOM 投影是目前最好的一种陆地卫星图象投影。它基本上是连续正形投影,最大变形不超过  $1/1\ 000$ 。

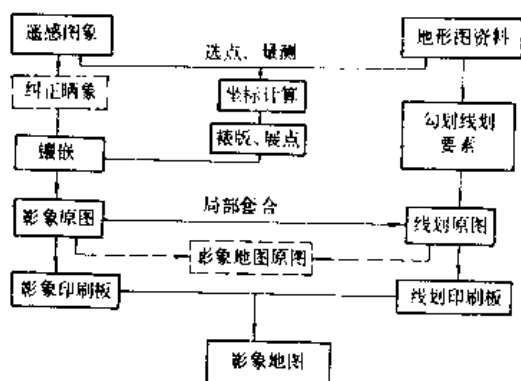
(2) 图象投影变换。是将卫星图象原有的投影性质转换成地图产品所规定的地图投影,即解决将地球表面由曲面展开成平面的问题。有常规转换方法和计算

机转换方法两种。具体做法与上述几何纠正方法类似。

**编图技术** 编制图件的种类有影像镶嵌图、影像地图、修编地形图、专题图、系列地图等。

(1) 影像镶嵌图。这种图形逼真、直观,成图快。主要是彩色红外影像镶嵌图。

(2) 影像地图。以遥感影像为基础,配合以线画符号和少量注记。影像地图综合了遥感影像和线画地图两者的优点,能客观地反映地理实体和现象的分布特征,成图周期较短。但是,复制工艺复杂,技术要求较高。影像地图的种类很多。按地图内容可分为普通影像地图和专题影像地图两大类。此外,还有立体影像地图、全息影像地图、数字影像地图、雷达影像地图等。利用航空遥感影像编制的大比例尺影像地图,能满足各项工程项目规划设计的需要。在这种影像地图中,利用正射投影纠正过的象片(简称“正射象片”)制作的地图叫做正射影像地图。编制影像地图包括影像原图的编制和线划原图的编制两部分。其一般工艺过程如下图所示。也可用专门的仪器设备直接编制。



编制影像地图的一般工艺流程

(3) 地形图修编。利用遥感图象修正地形图内容,将有变化的影像内容转绘到原有地形图上,以保证地形图的现势性,即几何位置以原有地形图为准,要素内容以影像为准。影响修编地形图精度的主要因素有:图象的几何精度、判读精度、转绘方法和设备条件。

(4) 专题地图。一种突出反映自然和社会某一种或某几种主题要素或现象的地图,又称“主题地图”。按地图的内容有:自然地图、社会经济地图和其他专题地图等,如土地类型图、土地利用图、矿区规划图、地质构造图、植被类型图、大气污染图等。专题地图的编制,除在普通地图上转绘有关地理基础要素和利用其他制图资料外,遥感信息已成为制作专题地图的重要资料来源。根据遥感图象编制专题地图的关键是从图象中



分类、判读和提取专题要素。用目视和计算机两种方法。具体编制方法与编图的目的、用途、资料状况、设备条件有关，但基本编图步骤类同。

(5) 系列地图。在某一制图区域内，根据多种专业的需要，利用遥感图象按照一定的比例尺和统一的制图规范，编制能反映制图区域环境综合特征或部门特

征的成套专题地图。各图幅之间形成相互关联和相互协调的地图系统。系列地图可以是同一比例尺、但内容不同的成套地图；也可以是同一内容、不同比例尺的成套地图。也有同一比例尺、同一内容，而时期不同的成套地图。

(郭达志)

## Z

zhujiang zaojingfa shigong celiang

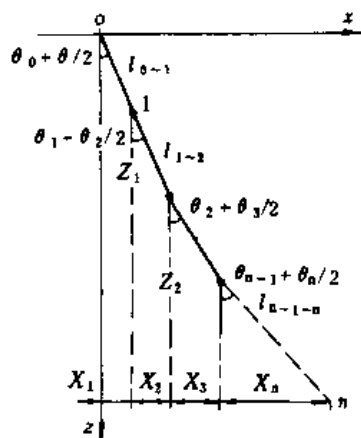
**注浆凿井法施工测量** (construction survey for grouting sinking) 采用注浆封堵地下水后再凿井的施工过程中的测量工作。有地面预注浆和工作面预注浆两类,测量工作大致相同。地面预注浆时的测量工作有钻场施工测量、注浆孔标定、注浆孔测斜、注浆孔测视及注浆效果检测。

**钻场施工测量** 在井筒周围平整场地,铺设环形轨道和安装钻机时进行的检查测量。

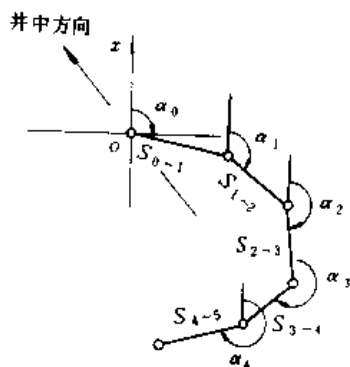
**注浆孔标定** 根据设计孔数、布置方式和井筒荒径,计算标定数据。以井筒中心和十字中线(见立井十字中线标定)为依据,用极坐标法或线交会法(见建井测量)标定孔位,并用木桩固定。

**注浆孔测斜** 注浆孔的垂直度直接关系到浆液的扩散和注浆壁形成的质量。在钻进过程中须经常测量偏斜值和偏斜方位,如超限应及时纠偏。测斜方法有磁针式测斜仪测斜和陀螺测斜仪测斜(见冻结凿井法测量)。用磁针式测斜仪测斜时,将仪器缓慢下到孔内最深一个测点,测量顶角及方位角,再上提仪器逐点测量,点间隔20m。整理测斜成果时,以孔口中心为原点,计算各测斜点的坐标;绘制钻孔沿x轴(图1a)、y轴方向的竖直断面图;根据测点坐标或点间隔的水平投影和相对应的偏斜方位,绘制钻孔偏斜水平投影图(图1b);绘制注浆孔偏斜综合平面图和注浆帷幕(预计)轮廓图(图2)。

**注浆孔测视** 用钻孔摄影仪拍摄钻孔内壁照片,根据照片了解钻孔揭露的地层情况,或将电视摄像机下放到孔内,从荧光屏上直接检视岩层裂隙大小、方位及发育程度。测视成果是选择注浆参数和材料的重要



(a) 竖直断面图



(b) 水平投影图

图1 注浆孔偏斜图

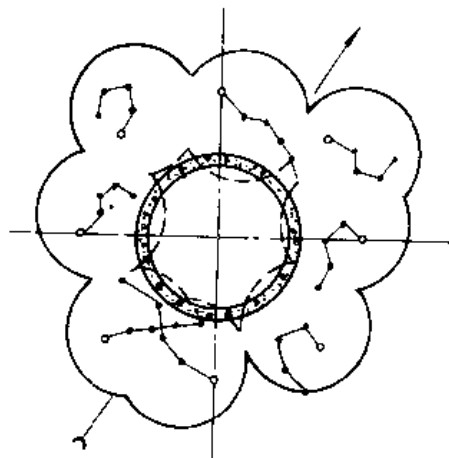


图2 注浆帷幕(预计)轮廓图

依据。

注浆效果检查 在注浆液凝固后进行。用无线电波透视仪检测时,在内、外检查孔内分别下放发射机和接收机,测得电波通过注浆地层的速度曲线来分析和确定注浆堵水效果。还可用声波检测仪检测。

(刘 林)

## zuanjing zaojingfa shigong celiang

**钻井凿井法施工测量** (construction survey for shaft boring) 用钻井机钻凿立井的施工过程中所进行的测量工作。主要内容有钻井设备安装测量、钻井施工测量和构筑井壁测量。

**钻井设备安装测量** 主要工作是:标定钻井锁口和钻井井架基础;井架安装测量及检查;安装复滑轮天车和游车时,找正天车平面位置,抄平天车大轴,检查和控制天车中心、游车中心、井架中心与井筒中心位于同一条铅垂线上;测设封口平车、钻台车轨道中心线,标定轨道位置、轨面高程并检查轨距;安装封口平车、钻台车时,抄平平台面;在钻台上安装转盘时,依据井筒十字中线找正,使其中心与井筒中心重合;进行龙门吊车轨道安装检查。

**钻井施工测量** 主要工作是进行井径、井斜测量,目的是判明钻井偏斜情况和缩径、扩径的大小,以便及时纠偏。测量方法有重锤打印法、单拉斜线法、钻杆位移法、坐标仪法和投影仪法等几何方法,以及超声波测井仪测量。

采用几何方法测量钻井井筒,能够求得井筒轴线在各个测深水平上的偏斜值及偏斜方向,但不能测得

井筒在各测深水平上的横断面的真实大小。为此,国内外广泛采用超声波测井仪测量。超声波测井仪测量是依据声波在井筒泥浆中的传播速度和时间来测出仪器中心到井壁测点的平距,然后据此计算、绘图,求得井径的大小、井筒中心偏斜值、偏斜方位角及偏斜率。绘制井中偏斜的综合平面图,求得钻井的有效断面(图1)。有效断面圆半径应大于预制井壁外圆半径200~350mm。

**构筑井壁测量** 包括预制井壁测量、下沉井壁测量和井筒竣工测量。

**预制井壁测量** 构筑预制井壁基础时,应标定基础十字中线,抄平基础面钢板或钢轨;组立模板时,控制中间支撑架中心与基础中心重合;上、下法兰盘中心与基础中心重合,法兰盘边缘十字线与基础十字线相重合;法兰盘面水平;用垂球线检查内、外模板中心,垂直程度和十字线重合度;用钢尺丈量井壁高度。第一节井壁制成锅底形,中心埋圆环,其余制成筒状。

**下沉井壁测量** 根据终钻后的测斜资料,求得井筒的有效断面,符合设计要求后,方可下沉井壁底和井壁筒。井壁底下沉就位后,依据井筒十字中线找正井壁底的平面位置,使壁底中心环和上口中心与悬挂的中心垂线重合。连接井壁时,依据井筒十字中线找正井壁的平面位置。由壁底中心点(图2)向上拉一根尼龙线绳,调整井壁,使其通过井壁下、上口法兰盘十字线交

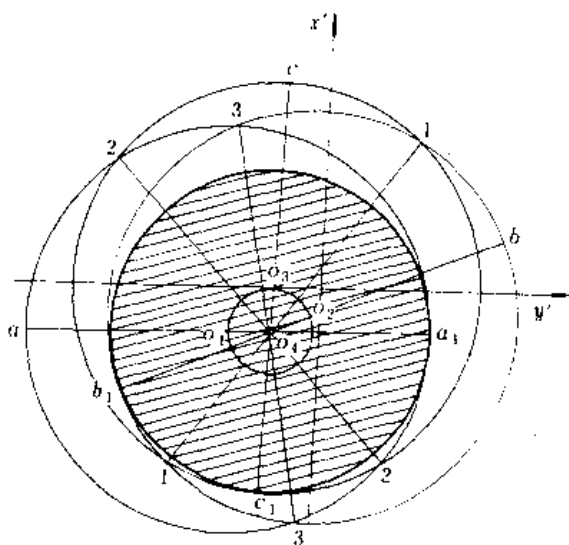


图1 求井筒有效断面

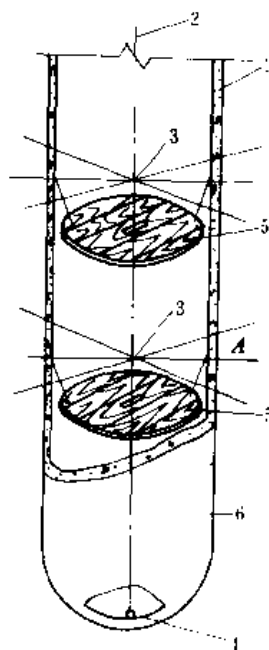


图2 下沉井壁测量示意图

1—井壁; 2—井筒中心线; 3—井壁上、下口中心点;  
4—井壁底中心标志环; 5—吊盘; 6—预制井壁底

点,以保证井壁底中心与各节井壁筒的中心位于同一条铅垂线上。全部井壁筒下沉完毕后,进行井筒偏斜测量。对于井中水面以上部分的井筒,依据中心垂线检查;对于水面以下部分的井筒,用超声波测井仪测量。根据测斜成果调整好井壁筒,接着进行壁后充填固井。

井筒竣工测量 井筒排水前,用超声波测井仪测量;排水后,依据中心垂球线和边垂线进行井筒剖面测量;在地面实测井筒中心坐标。根据所测资料绘制井筒竣工图。

(刘 林)

## zuobiao huansuan

**坐标换算** (coordinate conversion) 将一个或一些点在某一坐标系的坐标换算成另一坐标系的坐标所进行的计算工作。在进行矿区平面控制网坐标系选择,或需要利用不同坐标系的成果和成图资料,以及在矿区(地方)控制网与国家控制网联测时,都存在坐标换算问题。

在煤矿生产实践中遇到的平面坐标换算主要有:大地坐标与高斯平面坐标的换算、高斯平面坐标换带计算、高斯平面坐标与矿区平面坐标的换算、平面坐标之间的换算等。

大地坐标与高斯平面坐标换算 由大地坐标( $L, B$ )计算高斯平面坐标( $x, y$ ),称为高斯投影正算;由高斯平面坐标计算大地坐标称为高斯投影反算。高斯投影正、反算可直接按高斯投影公式计算,亦可使用《高斯-克吕格投影计算表》换算。投影正反算公式比较复杂,一般用计算机计算。

(1) 由大地坐标( $L, B$ )计算高斯平面坐标( $x, y$ )的正算公式为:

$$\begin{aligned} x &= 6367558.4969B/\rho - \{a_0 - (0.5 \\ &\quad + (a_4 + a_6 l^2) l^2) l^2 N\} \sin B \cos B \\ y &= [1 + (a_3 + a_5 l^2) l^2] \cdot l \cdot N \cdot \cos B \end{aligned}$$

式中

$$\begin{aligned} N &= 6399698.902 - 21562.267 \cos^2 B \\ &\quad + 108.973 \cos^4 B - 0.612 \cos^6 B \\ &\quad + 0.004 \cos^8 B - \dots \\ a_0 &= 32140.404 - [135.3302 - (0.7092 \\ &\quad - 0.0040 \cos^2 B) \cos^2 B] \cos^2 B \\ a_4 &= (0.25 + 0.00252 \cos^2 B) \cos^2 B \\ &\quad - 0.04166 \\ a_6 &= (0.166 \cos^2 B - 0.084) \cos^2 B \\ a_3 &= (0.3333333 + 0.001123 \cos^2 B) \cos^2 B \\ &\quad - 0.1666667 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} a_5 &= 0.0083 - [0.1667 - (0.1968 \\ &\quad + 0.0040 \cos^2 B) \cos^2 B] \cos^2 B \end{aligned}$$

$$l = (L - L_0)/\rho, L_0 \text{ 为中央子午线纬度}$$

(2) 由高斯平面坐标( $x, y$ )计算大地坐标( $L, B$ )的反算公式为:

$$B = B_1 - [1 - (b_4 - 0.12z^2)z^2]z^2 b_2 \rho$$

$$l = [1 - (b_3 - b_5 z^2)z^2]z \rho$$

式中

$$\begin{aligned} B_1 &= \beta + \{50221746 + [293622 + (2350 \\ &\quad + 22 \cos^2 \beta) \cos^2 \beta] \cos^2 \beta\} 10^{-10} \sin \beta \cos \beta \cdot \rho \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{x}{6367558.4969 \rho}$$

$$z = \frac{y}{N_1 \cos B_1}$$

$$\begin{aligned} N_1 &= 6399698.902 - [21562.267 \\ &\quad - (108.973 - 0.612 \cos^2 B_1) \cos^2 B_1] \cos^2 B_1 \\ b_2 &= (0.5 + 0.003369 \cos^2 B_1) \sin B_1 \cos B_1 \\ b_3 &= 0.333333 - (0.166667 \\ &\quad - 0.001123 \cos^2 B_1) \cos^2 B_1 \\ b_4 &= 0.25 + (0.16161 \\ &\quad + 0.00562 \cos^2 B_1) \cos^2 B_1 \\ b_5 &= 0.2 - (0.1667 - 0.0083 \cos^2 B_1) \cos^2 B_1 \end{aligned}$$

高斯平面坐标换带计算 不同投影带之间的坐标换算,有6°带坐标换算为3°带坐标和相邻3°带之间的坐标换算。6°带坐标换算为3°带坐标时,由于3°带的中央子午线中有半数与6°带中央子午线重合,另外半数与6°带的分带子午线重合,因此由6°带到3°带的换算分为两种情况:①3°带与6°带中央子午线重合,由于中央子午线一致,6°带的坐标就是3°带的坐标,不存在坐标换算问题。②3°带中央子午线与6°带中央子午线不重合,必须进行换带计算。此时,与本3°带相邻的3°带的中央子午线必与6°带的中央子午线重合。因此3°带与6°带的坐标换算,实质上就是3°带与3°带之间的坐标换算。

坐标换带计算方法很多,通常采用的有直接换带法和间接换带法。

(1) 直接换带法。是按推导出的与邻带坐标换算的关系式,编出专门用表,直接计算出点在相邻带的坐标。目前普遍应用《高斯-克吕格坐标换算表》进行换带计算。这种表可供3°带与3°带、3°带与6°带、6°带与6°带坐标的相互换算,其精密计算的实用公式为:

$$\begin{aligned} x_2 &= x_1 + (m + m_1 \Delta y_1) \Delta y_1 + \delta_x \\ &= x_1 + [m - (m_1 + m_2 \Delta y_1) \Delta y_1] \Delta y_1 + \sigma_x \\ y_2 &= y_0 + (n + n_1 \Delta y_1) \Delta y_1 + \delta_y \\ &= y_0 + [n + (n_1 + n_2 \Delta y_1) \Delta y_1] \Delta y_1 + \sigma_y \end{aligned}$$



式中  $x_1, y_1$  为原带中的坐标;  $x_2, y_2$  为新换带中的坐标;  $\Delta y_1 = \pm y_1 - y_0$ ;  $m, n, m_1, n_1, m_2, n_2, \delta_x, \delta_y, \sigma_x, \sigma_y$  均为《高斯-克吕格坐标换算表》中的表列值, 统称为换带常数。

(2) 间接换带法。其实质是将需进行换带的点的高斯平面坐标, 按高斯投影反算公式求出该点的大地坐标 ( $L, B$ ), 然后根据纬度  $B$  和对选定的中央子午线的经度差 ( $l = L - L_0$ ), 按高斯投影正算公式求得其在选定的投影带内的坐标 ( $x_2, y_2$ )。这种方法适用于任何投影带间的换带计算。

换算点较多时, 可采用通过三角形化算的计算法。其实质是将原带中各三角形的平面角值化算成新带中的平面角值, 重新计算各点在新带中的坐标。

高斯平面坐标与矿区(地方)坐标的换算 其换算方法和计算步骤决定于所选择的矿区坐标系(见平面坐标系)。

(1) 高斯平面坐标与选择通过矿区中央的子午线作为矿区坐标系的中央子午线, 矿区平均高程面为投影面的矿区坐标系的坐标换算是: ①用高斯投影反算公式将 6°带(或 3°带)的高斯平面坐标换算成大地坐标 ( $L, B$ ); ②用高斯投影正算公式将所求得的大地坐标换算成矿区中央子午线的矿区平面坐标 ( $X, Y$ ); ③再按下式进行投影计算, 即可求得在矿区投影面上的矿区坐标系中的坐标 ( $x, y$ )。

$$x = X + (X - x_0)K$$

$$y = Y + (Y - y_0)K$$

式中  $K = H_m/R_m$ ;  $H_m$  是矿区平均高程面的高程;  $R_m$  是矿区平均纬度处的椭球平均曲率半径;  $x_0, y_0$  是矿区坐标系起算点的坐标。

若需将矿区坐标换算为 6°带(或 3°带)高斯平面坐标, 其计算步骤与之相反, 即: ①按上式先将矿区投影面上的矿区坐标换算为矿区中央子午线的平面坐标(由矿区高程面向高斯平面反投影); ②利用高斯投影反算公式将其坐标换算成大地坐标; ③用高斯投影正算公式将大地坐标换算成 6°带(或 3°带)高斯平面直角坐标。

(2) 高斯平面坐标与以统一的椭球面作为投影面, 选择“抵偿投影带”的矿区坐标系的坐标换算方法, 与不同投影带之间高斯平面坐标换算的方法相同, 仅仅是中央子午线的经度不同。所以两种坐标之间的换算实际上是换带计算问题。

(3) 高斯平面坐标与以“抵偿高程面”为投影面的矿区坐标系的坐标换算, 由于其与统一的 6°带(或 3°带)坐标系仅仅是投影面不同, 故可利用上式完成两坐标系统的互换。

平面坐标换算 一个矿区存在着几个不同的平面坐标系, 为便于成果、成图相互利用, 须进行平面坐标的换算。如果两个坐标系统有重合点时, 可按平均转轴相似变换法、最小二乘法换算。

(1) 平均转轴相似变换法。根据重合点在两坐标系(分别简称为新、旧系统)中同一边的坐标方位角之差  $\Delta\alpha = \alpha_{\text{新}} - \alpha_{\text{旧}}$ 、和长度比系数  $k$  (当有两个以上重合点时,  $\Delta\alpha$  及  $k$  应分别求得并取平均值), 按下式计算旧系统的点在新系统中的坐标(见图):

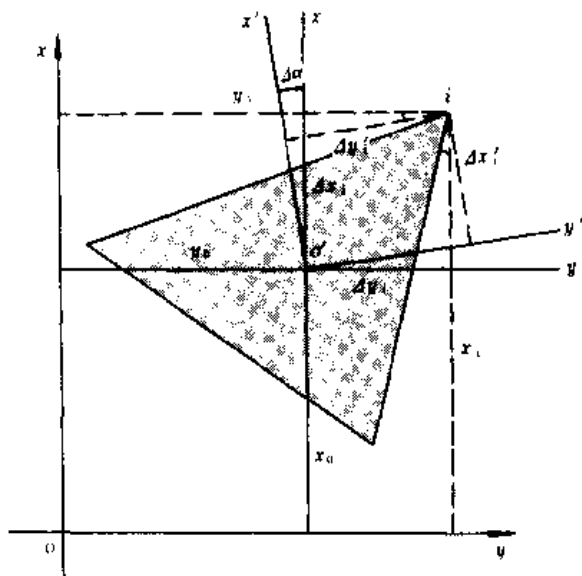
$$x_1 = x_0 + k \cos \Delta\alpha (x'_1 - x'_0)$$

$$- k \sin \Delta\alpha (y'_1 - y'_0)$$

$$y_1 = y_0 + k \cos \Delta\alpha (y'_1 - y'_0)$$

$$+ k \sin \Delta\alpha (x'_1 - x'_0)$$

式中  $x_1, y_1, x'_1, y'_1$  分别是  $i$  点在新、旧坐标系中的坐标;  $x_0, y_0, x'_0, y'_0$  分别是新、旧坐标系中重合点的重心坐标(重合点的平均坐标);  $x_0, y_0, x'_0, y'_0, k \sin \Delta\alpha, k \cos \Delta\alpha$  称为换算元素。



平均转轴相似变换关系图

(2) 最小二乘法换算。用于重合点较多时的坐标换算。要求重合点的新旧坐标必须是同一投影带中的高斯平面坐标或都是矿区平面坐标系中的坐标。由于平均转轴相似变换法对换算元素没有进行严密的平差, 换算结果精度较低, 故常用最小二乘法进行平面坐标换算。其实质是: 首先对换算元素进行平差, 然后再应用平差求得的换算元素按上式进行坐标换算。当有几个重合点时, 换算元素的平差值为:

$$x_0 = [x]/n$$

$$y_0 = [y_-]/n$$

$$x_0' = [x']/n$$

$$y_0' = [y']/n$$

$$k\sin\Delta\alpha = \frac{[\Delta x'\Delta y] - [\Delta x\Delta y']}{[\Delta x'\Delta x'] + [\Delta y'\Delta y']}$$

$$k\cos\Delta\alpha = \frac{[\Delta x\Delta x'] + [\Delta y\Delta y']}{[\Delta x'\Delta x'] + [\Delta y'\Delta y']}$$

$$\text{式中 } \Delta x_i = x_i - x_0; \Delta y_i = y_i - y_0; \Delta x'_i = x'_i - x'_0; \Delta y'_i = y'_i - y'_0。$$

(李雙璧)

## 附录一 中华人民共和国法定计量单位

我国的法定计量单位(以下简称法定单位)包括:

- (1) 国际单位制的基本单位(见表1);
- (2) 国际单位制的辅助单位(见表2);
- (3) 国际单位制中具有专门名称的导出单位(见表3);
- (4) 国家选定的非国际单位制单位(见表4);
- (5) 由以上单位构成的组合形式的单位;
- (6) 由词头和以上单位所构成的十进倍数和分数单位(词头见表5)。

表1 国际单位制的基本单位

| 量的名称  | 单位名称   | 单位符号 |
|-------|--------|------|
| 长度    | 米      | m    |
| 质量    | 千克(公斤) | kg   |
| 时间    | 秒      | s    |
| 电流    | 安[培]   | A    |
| 热力学温度 | 开[尔文]  | K    |
| 物质的量  | 摩[尔]   | mol  |
| 发光强度  | 坎[德拉]  | cd   |

表2 国际单位制的辅助单位

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号 |
|------|------|------|
| 平面角  | 弧度   | rad  |
| 立体角  | 球面度  | sr   |

法定单位的定义、使用方法等,由国家计量局另行规定。

表3 国际单位制中具有专门名称的导出单位

| 量的名称        | 单位名称   | 单位符号        | 其它表示式例           |
|-------------|--------|-------------|------------------|
| 频率          | 赫[兹]   | Hz          | $s^{-1}$         |
| 力,重力        | 牛[顿]   | N           | $kg \cdot m/s^2$ |
| 压力,压强,应力    | 帕[斯卡]  | Pa          | $N/m^2$          |
| 能量,功,热      | 焦[耳]   | J           | $N \cdot m$      |
| 功率,辐射通量     | 瓦[特]   | W           | $J/s$            |
| 电荷量         | 库[仑]   | C           | $A \cdot s$      |
| 电位,电压,电动势   | 伏[特]   | V           | $W/A$            |
| 电容          | 法[拉]   | F           | $C/V$            |
| 电阻          | 欧[姆]   | $\Omega$    | $V/A$            |
| 电导          | 西[门子]  | S           | $A/V$            |
| 磁通量         | 韦[伯]   | Wb          | $V \cdot s$      |
| 磁通量密度,磁感应强度 | 特[斯拉]  | T           | $Wb/m^2$         |
| 电感          | 亨[利]   | H           | $Wb/A$           |
| 摄氏温度        | 摄氏度    | $^{\circ}C$ |                  |
| 光通量         | 流[明]   | lm          | $cd \cdot sr$    |
| 光照度         | 勒[克斯]  | lx          | $lm/m^2$         |
| 放射性活度       | 贝可[勒尔] | Bq          | $s^{-1}$         |
| 吸收剂量        | 戈[瑞]   | Gy          | $J/kg$           |
| 剂量当量        | 希[沃特]  | Sv          | $J/kg$           |

表4 国家选定的非国际单位制单位

| 量的名称 | 单位名称 | 单位符号           | 换算关系和说明  |
|------|------|----------------|--|
| 时间   | 分    | min            | 1 min=60 s                                     |
|      | [小]时 | h              | 1 h=60min=3 600s                               |
|      | [天]日 | d              | 1 d=24h=86 400 s                               |
| 平面角  | [角]秒 | ( $''$ )       | $1''=(\pi/648\,000) \text{ rad}$ ( $\pi$ 为圆周率) |
|      | [角]分 | ( $'$ )        | $1'=60''=(\pi/10\,800) \text{ rad}$            |
|      | 度    | ( $^{\circ}$ ) | $1^{\circ}=60'=(\pi/180) \text{ rad}$          |
| 旋转速度 | 转每分  | r/min          | 1 r/min= (1/60) $s^{-1}$                       |

续表

| 量的名称  | 单位名称        | 单位符号   | 换算关系和说明   |
|-------|-------------|--------|---|
| 长 度   | 海 里         | n mile | 1 n mile = 1 852 m<br>(只用于航程)                                     |
| 速 度   | 节           | kn     | 1 kn = 1 n mile/h<br>= (1 852/3 600) m/s<br>(只用于航行)               |
| 质 量   | 吨<br>原子质量单位 | t<br>u | 1 t = $10^3$ kg<br>1 u $\approx 1.660\,565\,5 \times 10^{-27}$ kg |
| 体 积   | 升           | L (l)  | 1 L = 1 dm <sup>3</sup> = $10^{-3}$ m <sup>3</sup>                |
| 能     | 电子伏         | eV     | 1 eV $\approx 1.602\,189\,2 \times 10^{-19}$ J                    |
| 级 差   | 分 贝         | dB     |   |
| 线 密 度 | 特〔克斯〕       | tex    | 1 tex = 1 g/km  |

表 5 用于构成十进倍数和分数单位的词头

| 所表示的因数    | 词头名称  | 词头符号  |
|-----------|-------|-------|
| $10^{18}$ | 艾〔可萨〕 | E     |
| $10^{15}$ | 拍〔它〕  | P     |
| $10^{12}$ | 太〔拉〕  | T     |
| $10^9$    | 吉〔咖〕  | G     |
| $10^6$    | 兆     | M     |
| $10^3$    | 千     | k     |
| $10^2$    | 百     | h     |
| $10^1$    | 十     | da    |
| $10^{-1}$ | 分     | d     |
| $10^{-2}$ | 厘     | c     |
| $10^{-3}$ | 毫     | m     |
| $10^{-6}$ | 微     | $\mu$ |
| $10^{-9}$ | 纳〔诺〕  | n     |

续表

| 所表示的因数     | 词头名称  | 词头符号 |
|------------|-------|------|
| $10^{-12}$ | 皮〔可〕  | p    |
| $10^{-15}$ | 飞〔母托〕 | f    |
| $10^{-18}$ | 阿〔托〕  | a    |

注：1. 周、月、年（年的符号为 a）为一般常用时间单位。  
 2.〔〕内的字，是在不致混淆的情况下，可以省略的字。  
 3.（）内的字为前者的同义语。  
 4. 角度单位度分秒的符号不处于数字后时，用括弧。  
 5. 升的符号中，小写字母 l 为备用符号。  
 6. r 为“转”的符号。  
 7. 人民生活和贸易中，质量习惯称为重量。  
 8. 公里为千米的俗称，符号为 km。  
 9.  $10^4$  称为万， $10^8$  称为亿， $10^{12}$  称为万亿，这类数词的使用不受词头名称的影响，但不应与词头混淆。

## 附录二 中华人民共和国法定计量单位使用方法

### 一、总 则

1. 中华人民共和国法定计量单位（简称法定单位）是以国际单位制单位为基础，同时选用了一些非国际单位制的单位构成的。法定单位的使用方法以本文件为准。

2. 国际单位制是在米制基础上发展起来的单位

制。其国际简称为 SI。国际单位制包括 SI 单位、SI 词头和 SI 单位的十进倍数与分数单位三部分。

按国际上的规定，国际单位制的基本单位、辅助单位、具有专门名称的导出单位以及直接由以上单位构成的组合形式的单位（系数为 1）都称之为 SI 单位。它们有主单位的含义，并构成一贯单位制。

3. 国际上规定的表示倍数和分数单位的 16 个词头，称为 SI 词头。它们用于构成 SI 单位的十进倍数和

分数单位,但不得单独使用。质量的十进倍数和分数单位由 SI 词头加在“克”前构成。

4. 本文件涉及的法定单位符号(简称符号),系指国务院 1984 年 2 月 27 日命令中规定的符号,适用于我国各民族文字。

5. 把法定单位名称中方括号里的字省略即成为其简称。没有方括号的名称,全称与简称相同。简称可在不致引起混淆的场合下使用。

## 二、法定单位的名称

6. 组合单位的中文名称与其符号表示的顺序一致。符号中的乘号没有对应的名称,除号的对应名称为“每”字,无论分母中有几个单位,“每”字只出现一次。

例如:比热容单位的符号是  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ,其单位名称是“焦耳每千克开尔文”而不是“每千克开尔文焦耳”或“焦耳每千克每开尔文”。

7. 乘方形式的单位名称,其顺序应是指数名称在前,单位名称在后。相应的指数名称由数字加“次方”二字而成。

例如:断面惯性矩的单位  $\text{m}^4$  的名称为“四次方米”。

8. 如果长度的 2 次和 3 次幂是表示面积和体积,则相应的指数名称为“平方”和“立方”,并置于长度单位之前,否则应称为“二次方”和“三次方”。

例如:体积单位  $\text{dm}^3$  的名称是“立方分米”,而断面系数单位  $\text{m}^3$  的名称是“三次方米”。

9. 书写单位名称时不加任何表示乘或除的符号或其它符号。

例如:电阻率单位  $\Omega \cdot \text{m}$  的名称为“欧姆米”而不是“欧姆·米”、“欧姆—米”,“〔欧姆〕〔米〕”等。

例如:密度单位  $\text{kg}/\text{m}^3$  的名称为“千克每立方米”而不是“千克/立方米”。

## 三、法定单位和词头的符号

10. 在初中、小学课本和普通书刊中有必要时,可将单位的简称(包括带有词头的单位简称)作为符号使用。这样的符号称为“中文符号”。

11. 法定单位和词头的符号,不论拉丁字母或希腊字母,一律用正体,不附省略点,且无复数形式。

12. 单位符号的字母一般用小写体,若单位名称来源于人名,则其符号的第一个字母用大写体。

例如:时间单位“秒”的符号是  $\text{s}$ 。

例如:压力、压强的单位“帕斯卡”的符号是  $\text{Pa}$ 。

13. 词头符号的字母当其所表示的因数小于  $10^6$  时,一律用小写体,大于或等于  $10^6$  时用大写体。

14. 由两个以上单位相乘构成的组合单位,其符号有下列两种形式:

$$\text{N} \cdot \text{m} \quad \text{Nm}$$

若组合单位符号中某单位的符号同时又是某词头的符号,并有可能发生混淆时,则应尽量将它置于右侧。

例如:力矩单位“牛顿米”的符号应写成  $\text{Nm}$ ,而不宜写成  $\text{mN}$  以免误解为“毫牛顿”。

15. 由两个以上单位相乘所构成的组合单位,其中文符号只用一种形式,即用居中圆点代表乘号。

例如:动力粘度单位“帕斯卡秒”的中文符号是“帕·秒”而不是“帕秒”、“〔帕〕〔秒〕”、“帕·〔秒〕”、“帕—秒”、“(帕)(秒)”“帕斯卡·秒”等。

16. 由两个以上单位相除所构成的组合单位,其符号可用下列三种形式之一:

$$\text{kg}/\text{m}^3 \quad \text{kg} \cdot \text{m}^{-3} \quad \text{kgm}^{-3}$$

当可能发生误解时,应尽量用居中圆点或斜线(/)的形式。

例如:速度单位“米每秒”的法定符号用  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  或  $\text{m/s}$ ,而不宜用  $\text{ms}^{-1}$ ,以免误解为“每毫秒”。

17. 由两个以上单位相除所构成的组合单位,其中文符号可采用以下两种形式之一:

$$\text{千克}/\text{米}^3 \quad \text{千克} \cdot \text{米}^{-3}$$

18. 在进行运算时,组合单位中的除号可用水平横线表示。

例如:速度单位可以写成  $\frac{\text{m}}{\text{s}}$  或  $\frac{\text{米}}{\text{秒}}$ 。

19. 分子无量纲而分母有量纲的组合单位即分子为 1 的组合单位的符号,一般不用分式而用负数幂的形式。

例如:波数单位的符号是  $\text{m}^{-1}$ ,一般不用  $1/\text{m}$ 。

20. 在用斜线表示相除时,单位符号的分子和分母都与斜线处于同一行内。当分母中包含两个以上单位符号时,整个分母一般应加圆括号。在一个组合单位的符号中,除加括号避免混淆外,斜线不得多于一条。

例如:热导率单位的符号是  $\text{W}/(\text{K} \cdot \text{m})$ ,而不是  $\text{W}/\text{K} \cdot \text{m}$  或  $\text{W}/\text{K}/\text{m}$ 。

21. 词头的符号和单位的符号之间不得有间隙,也不加表示相乘的任何符号。

22. 单位和词头的符号应按其名称或者简称读音,而不得按字母读音。

23. 摄氏温度的单位“摄氏度”的符号  $^{\circ}\text{C}$ ,可作为中文符号使用,可与其它中文符号构成组合形式的单

位。

24. 非物理量的单位(如:件、台、人、元等)可用汉字与符号构成组合成式的单位。

#### 四、法定单位和词头的使用规则

25. 单位与词头的名称,一般只宜在叙述性文字中使用。单位和词头的符号,在公式、数据表、曲线图、刻度盘和产品铭牌等需要简单明了表示的地方使用,也可用于叙述性文字中。

应优先采用符号。

26. 单位的名称或符号必须作为一个整体使用,不得拆开。

例如:摄氏温度单位“摄氏度”表示的量值应写成并读成“20 摄氏度”,不得写成并读成“摄氏 20 度”。

例如:30km/h 应读成“三十千米每小时”。

27. 选用 SI 单位的倍数单位或分数单位,一般应使量的数值处于 0.1~1 000 范围内。

例如:1.2×10<sup>4</sup>N 可以写成 12kN。

0.003 94m 可以写成 3.94mm。

11 401Pa 可以写成 11.401kPa。

3.1×10<sup>-6</sup>s 可以写成 31ns。

某些场合习惯使用的单位可以不受上述限制。

例如:大部分机械制图使用的长度单位可以用“mm(毫米)”;导线截面积使用的面积单位可以用“mm<sup>2</sup>(平方毫米)”。

在同一个量的数值表中或叙述同一个量的文章中,为对照方便而使用相同的单位时,数值不受限制。

词头 h、da、d、c(百、十、分、厘),一般用于某些长度、面积和体积的单位中,但根据习惯和方便也可用于其它场合。

28. 有些非法定单位,可以按习惯用 SI 词头构成倍数单位或分数单位。

例如:mCi、mGal、mR 等。

法定单位中的摄氏度以及非十进制的单位,如平面角单位“度”、“〔角〕分”、“〔角〕秒”与时间单位“分”、“时”、“日”等,不得用 SI 词头构成倍数单位或分数单位。

29. 不得使用重叠的词头。

例如:应该用 nm,不应该用 mμm;应该用 am,不应该用 μμm,也不应该用 nmm。

30. 亿(10<sup>8</sup>)、万(10<sup>4</sup>)等是我国习惯用的数词,仍可使用,但不是词头。习惯使用的统计单位,如万公里可记为“万 km”或“10<sup>4</sup>km”;万吨公里可记为“万 t·km”或“10<sup>4</sup>t·km”。

31. 只是通过相乘构成的组合单位在加词头时,词头通常加在组合单位中的第一个单位之前。

例如:力矩的单位 kN·m,不宜写成 N·km。

32. 只通过相除构成的组合单位或通过乘和除构成的组合单位在加词头时,词头一般应加在分子中的第一个单位之前,分母中一般不用词头。但质量的 SI 单位 kg,这里不作为有词头的单位对待。

例如:摩尔内能单位 kJ/mol 不宜写成 J/mmol。

例如:比能单位可以是 J/kg。

33. 当组合单位分母是长度、面积和体积单位时,按习惯与方便,分母中可以选用词头构成倍数单位或分数单位。

例如:密度的单位可以选用 g/cm<sup>3</sup>。

34. 一般不在组合单位的分子分母中同时采用词头,但质量单位 kg 这里不作为有词头对待。

例如:电场强度的单位不宜用 kV/mm,而用 mV/m;质量摩尔浓度可以用 mmol/kg。

35. 倍数单位和分数单位的指数,指包括词头在内的单位的幂。

例如:1cm<sup>2</sup>=1(10<sup>-2</sup>m)<sup>2</sup>=1×10<sup>-4</sup>m<sup>2</sup>,

而 1cm<sup>2</sup>≠10<sup>-2</sup>m<sup>2</sup>。1μs<sup>-1</sup>=1(10<sup>-6</sup>s)<sup>-1</sup>=10<sup>6</sup>s<sup>-1</sup>。

36. 在计算中,建议所有量值都采用 SI 单位表示,词头应以相应的 10 的幂代替(kg 本身是 SI 单位,故不应换成 10<sup>3</sup>g)。

37. 将 SI 词头的部分中文名称置于单位名称的简称之前构成中文符号时,应注意避免与中文数词混淆,必要时应使用圆括号。

例如:旋转频率的量值不得写为 3 千秒<sup>-1</sup>。

如表示“三每千秒”,则应写为“3(千秒)<sup>-1</sup>”(此处“千”为词头)。

如表示“三千每秒”,则应写为“3 千(秒)<sup>-1</sup>”(此处“千”为数词)。

例如:体积的量值不得写为“2 千米<sup>3</sup>”。

如表示“二立方千米”,则应写为“2(千米)<sup>3</sup>”(此处“千”为词头);

如表示“二千立方米”,则应写为“2 千(米)<sup>3</sup>”(此处“千”为数词)。

# 条目汉字笔画索引

## 说 明

一、本索引供读者按条目标题的汉字笔画查检条目。

二、条目标题按第一字的笔画由少到多的顺序排列,笔画数相同的字按起笔笔形一(横)、丨(竖)、丿(撇)、丶(点)、㇀(折,包括乚、乚、乚、乚等)的顺序排列。第一字相同的,依次按后面各字的笔画数和起笔笔形顺序排列。

三、索引后的阿拉伯数字是条目所在页码。

## 地 质

### 三 画

|               |     |
|---------------|-----|
| “三边”工作 .....  | 361 |
| 三角洲沉积体系 ..... | 362 |
| 三维地震勘探 .....  | 366 |
| 大同煤田 .....    | 37  |
| 上西里西亚煤田 ..... | 369 |

### 四 画

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 无线电波透视法 .....   | 418 |
| 天然焦 .....       | 398 |
| 专门水文地质勘探 .....  | 463 |
| 开滦煤田 .....      | 148 |
| 井筒涌水量 .....     | 130 |
| 不取心钻进 .....     | 9   |
| 瓦斯地质 .....      | 404 |
| 瓦斯采取器 .....     | 404 |
| 瓦斯突出危险性评价 ..... | 407 |
| 中国含煤地层 .....    | 450 |
| 中国煤田地质图 .....   | 456 |
| 中国煤岩特征 .....    | 456 |
| 中国煤变质规律 .....   | 452 |
| 内陆型含煤岩系 .....   | 335 |
| 反射波法地震勘探 .....  | 78  |
| 反循环钻进 .....     | 80  |

|              |     |
|--------------|-----|
| 乌鲁木齐煤田 ..... | 416 |
| 六盘水煤田 .....  | 198 |
| 孔内技术测井 ..... | 160 |
| 孔内事故 .....   | 161 |
| 水文地质物探 ..... | 389 |
| 水文地质试验 ..... | 388 |
| 水文地质测绘 ..... | 386 |
| 水文地质钻探 ..... | 391 |
| 水文地质勘探 ..... | 387 |

### 五 画

|                  |     |
|------------------|-----|
| 艾伯塔煤田 .....      | 4   |
| 石炭二叠纪含煤地层 .....  | 377 |
| 石煤 .....         | 375 |
| 石墨 .....         | 376 |
| 电阻率法 .....       | 65  |
| 电法勘探资料地质解释 ..... | 62  |
| 电测井 .....        | 60  |
| 立轴式钻机 .....      | 196 |
| 半镜质组 .....       | 8   |
| 台湾煤田 .....       | 395 |
| 丝炭化作用 .....      | 393 |
| 边采边探 .....       | 8   |

### 六 画

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 动力头式钻机 .....           | 68  |
| 地层模拟技术 .....           | 47  |
| 地表水防治 .....            | 38  |
| 地质说明书 .....            | 55  |
| 地质编录 .....             | 49  |
| 地质雷达法 .....            | 53  |
| 地球物探勘探数据处理 .....       | 39  |
| 地震地层学 .....            | 42  |
| 地震勘探资料地质解释 .....       | 43  |
| 成煤作用 .....             | 21  |
| 成煤植物 .....             | 20  |
| 早中侏罗世含煤地层 .....        | 439 |
| 早石炭世含煤地层 .....         | 437 |
| 同沉积构造 .....            | 398 |
| 回转钻进 .....             | 120 |
| 伊利诺斯煤田 .....           | 430 |
| 伊敏煤田 .....             | 430 |
| 交流电法仪 .....            | 125 |
| 冲击回转钻进 .....           | 24  |
| 冲击钻进 .....             | 25  |
| 冲积扇和扇三角洲沉积<br>体系 ..... | 21  |
| 约克郡-诺丁汉郡煤田 .....       | 436 |

## 七 画

|                  |     |
|------------------|-----|
| 坎斯克-阿钦斯克煤田 ..... | 158 |
| 坑道钻探 .....       | 159 |
| 壳质组 .....        | 354 |
| 声波测井 .....       | 372 |
| 走向滑动构造 .....     | 469 |
| 抚顺煤田 .....       | 86  |
| 找煤 .....         | 447 |
| 折射波法地震勘探 .....   | 447 |
| 伸展构造 .....       | 370 |
| 近海型含煤岩系 .....    | 128 |
| 含水层 .....        | 107 |
| 含煤沉积体系 .....     | 103 |
| 含煤岩系 .....       | 104 |
| 含煤性 .....        | 103 |
| 希尔特规律 .....      | 421 |
| 库兹涅茨克煤田 .....    | 162 |
| 沁水煤田 .....       | 356 |
| 阿巴拉契亚煤田 .....    | 3   |
| 鸡西煤田 .....       | 122 |

## 八 画

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 塌陷煤盆地 .....     | 6   |
| 构造型式 .....      | 98  |
| 直流电法仪 .....     | 449 |
| 矿井(坑)充水条件 ..... | 175 |
| 矿井(坑)涌水量 .....  | 177 |
| 矿井(坑)排水 .....   | 176 |
| 矿井水文地质 .....    | 183 |
| 矿井水文地质规程 .....  | 184 |
| 矿井水文地质类型 .....  | 185 |
| 矿井地质 .....      | 167 |
| 矿井地质报告 .....    | 168 |
| 矿井地质规程 .....    | 173 |
| 矿井地质构造 .....    | 170 |
| 矿井地质勘探 .....    | 174 |
| 矿井地质编录 .....    | 168 |
| 矿井地热 .....      | 164 |
| 矿井物探 .....      | 187 |
| 矿井突水预测 .....    | 185 |
| 矿井疏干 .....      | 179 |
| 矿区水资源评价 .....   | 192 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 矿区环境地质 .....     | 189 |
| 矿区环境地质勘察 .....   | 190 |
| 矿区供水水源勘探 .....   | 188 |
| 矿建地质 .....       | 163 |
| 抽水试验 .....       | 25  |
| 拧管机 .....        | 347 |
| 转盘式钻机 .....      | 464 |
| 岩心采取率 .....      | 427 |
| 岩石可钻性 .....      | 427 |
| 垂直地震剖面法勘探 .....  | 33  |
| 朱罗白垩纪含煤地层 .....  | 460 |
| 金刚石钻头 .....      | 127 |
| 金刚石钻进 .....      | 125 |
| 放水试验 .....       | 85  |
| 放射性测井 .....      | 81  |
| 河口湾-潮滩沉积体系 ..... | 108 |
| 河流沉积体系 .....     | 110 |
| 油页岩 .....        | 435 |
| 注浆堵水 .....       | 463 |
| 泥炭 .....         | 337 |
| 泥炭化作用 .....      | 345 |
| 泥炭沼泽 .....       | 346 |
| 泥浆 .....         | 336 |
| 泥浆处理剂 .....      | 337 |
| 定向钻进 .....       | 67  |
| 详查 .....         | 425 |

## 九 画

|                |     |
|----------------|-----|
| 南非煤田 .....     | 334 |
| 残植化作用 .....    | 11  |
| 残植煤 .....      | 10  |
| 耐火粘土 .....     | 333 |
| 昭通煤田 .....     | 445 |
| 显微煤岩类型 .....   | 423 |
| 重力滑动构造 .....   | 458 |
| 测井资料地质解释 ..... | 15  |

## 十 画

|             |     |
|-------------|-----|
| 莱茵煤田 .....  | 195 |
| 贾里亚煤田 ..... | 123 |
| 顿涅茨煤田 ..... | 71  |
| 钻孔 .....    | 474 |
| 钻孔冲洗 .....  | 474 |

|                |     |
|----------------|-----|
| 钻孔质量 .....     | 477 |
| 钻孔弯曲 .....     | 476 |
| 钻孔堵漏 .....     | 476 |
| 钻进方法 .....     | 474 |
| 钻进参数 .....     | 472 |
| 钻进参数仪 .....    | 472 |
| 钻探工具 .....     | 480 |
| 钻探机 .....      | 481 |
| 钻探设备 .....     | 482 |
| 钻探泵 .....      | 480 |
| 钻探钻头 .....     | 484 |
| 钻探效率 .....     | 483 |
| 钻塔 .....       | 478 |
| 钻塔活动工作台 .....  | 479 |
| 倾角测井 .....     | 359 |
| 高分辨率地震勘探 ..... | 93  |
| 高岭土 .....      | 96  |

## 十一画

|                |     |
|----------------|-----|
| 检波器 .....      | 124 |
| 勘探工程布置 .....   | 150 |
| 勘探手段 .....     | 157 |
| 勘探设计 .....     | 156 |
| 勘探阶段 .....     | 151 |
| 勘探类型 .....     | 153 |
| 硅藻土 .....      | 101 |
| 推覆构造 .....     | 400 |
| 探采对比 .....     | 396 |
| 晚二叠世含煤地层 ..... | 408 |
| 晚三叠世含煤地层 ..... | 412 |
| 鄂尔多斯煤田 .....   | 75  |
| 铝土矿 .....      | 200 |
| 第三纪含煤地层 .....  | 55  |
| 第四纪含泥炭地层 ..... | 58  |
| 悉尼煤田 .....     | 422 |
| 淮南煤田 .....     | 119 |
| 断陷煤盆地 .....    | 69  |
| 绳索取心钻进 .....   | 374 |
| 综合勘探 .....     | 468 |
| 综采地质条件评价 ..... | 465 |

## 十二画

|               |    |
|---------------|----|
| 超硬材料切削具 ..... | 19 |
|---------------|----|



|              |     |
|--------------|-----|
| 硬质合金钻头 ..... | 435 |
| 硬质合金钻进 ..... | 434 |
| 硬煤显微组分 ..... | 432 |
| 硫铁矿 .....    | 197 |
| 喀斯特陷落柱 ..... | 148 |
| 储量计算 .....   | 28  |
| 储量计算图 .....  | 32  |
| 储量级别 .....   | 26  |
| 鲁尔煤田 .....   | 199 |
| 情质组 .....    | 74  |
| 湖泊沉积体系 ..... | 117 |
| 温度测井 .....   | 415 |
| 普查 .....     | 351 |
| 富水系数 .....   | 90  |
| 富煤带 .....    | 90  |
| 隔水层 .....    | 98  |

### 十三画

|                  |     |
|------------------|-----|
| 频率测深法 .....      | 350 |
| 遥感技术 .....       | 427 |
| 煤 .....          | 203 |
| 煤区域岩浆热变质作用 ..... | 255 |
| 煤中伴生元素 .....     | 329 |
| 煤中矿物质 .....      | 331 |
| 煤化作用 .....       | 243 |
| 煤风化作用 .....      | 241 |
| 煤心采取率 .....      | 325 |
| 煤心采取器 .....      | 325 |
| 煤田 .....         | 262 |
| 煤田水文地质 .....     | 287 |
| 煤田电法勘探 .....     | 285 |
| 煤田地质构造 .....     | 273 |
| 煤田地质学 .....      | 282 |
| 煤田地质勘探 .....     | 275 |
| 煤田地质勘探报告 .....   | 277 |
| 煤田地质勘探基本图纸 ..... | 278 |
| 煤田地球物理测井 .....   | 267 |
| 煤田地球物理勘探 .....   | 268 |
| 煤田地震勘探 .....     | 270 |
| 煤田重力勘探 .....     | 290 |
| 煤田测井仪 .....      | 263 |
| 煤田钻探 .....       | 292 |
| 煤田预测 .....       | 288 |
| 煤田磁法勘探 .....     | 265 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 煤电镜研究 .....     | 239 |
| 煤动力变质作用 .....   | 240 |
| 煤成气 .....       | 233 |
| 煤成因类型 .....     | 238 |
| 煤成油 .....       | 238 |
| 煤成烃 .....       | 237 |
| 煤级 .....        | 244 |
| 煤系内火成岩 .....    | 311 |
| 煤系生物相 .....     | 313 |
| 煤系地球化学相 .....   | 305 |
| 煤系地球物理测井相 ..... | 306 |
| 煤系地震地层相 .....   | 308 |
| 煤系共伴生矿产资源 ..... | 310 |
| 煤系沉积构造 .....    | 301 |
| 煤系沉积相 .....     | 304 |
| 煤系层序地层分析 .....  | 294 |
| 煤系岩石相 .....     | 314 |
| 煤沉积模式 .....     | 231 |
| 煤层 .....        | 208 |
| 煤层瓦斯含量采样 .....  | 230 |
| 煤层气 .....       | 223 |
| 煤层对比 .....      | 217 |
| 煤层沉积环境 .....    | 213 |
| 煤层采样 .....      | 210 |
| 煤层底板等高线图 .....  | 216 |
| 煤层厚度变化 .....    | 220 |
| 煤矿工程地质 .....    | 249 |
| 煤矿区地质灾害 .....   | 250 |
| 煤矿水害治理 .....    | 251 |
| 煤矿床水文地质类型 ..... | 247 |
| 煤岩学 .....       | 326 |
| 煤岩组成 .....      | 327 |
| 煤的化学工艺性质 .....  | 239 |
| 煤的分类 .....      | 239 |
| 煤的物理性质 .....    | 239 |
| 煤质评价 .....      | 328 |
| 煤变质作用 .....     | 203 |
| 煤相 .....        | 320 |
| 煤炭资源 .....      | 261 |
| 煤炭资源评价 .....    | 261 |
| 煤炭储量 .....      | 259 |
| 煤显微组分 .....     | 317 |
| 煤显微组分荧光分析 ..... | 318 |
| 煤显微硬度 .....     | 317 |
| 煤盆地 .....       | 251 |

|                |     |
|----------------|-----|
| 煤盆地分析 .....    | 252 |
| 煤盆地类型 .....    | 253 |
| 煤核 .....       | 242 |
| 煤接触变质作用 .....  | 246 |
| 煤深成变质作用 .....  | 258 |
| 数字地震仪 .....    | 385 |
| 数学地质 .....     | 382 |
| 障壁海岸沉积体系 ..... | 442 |

### 十四画

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 聚煤区 .....       | 137 |
| 聚煤古地理 .....     | 136 |
| 聚煤条件 .....      | 146 |
| 聚煤带 .....       | 135 |
| 聚煤期 .....       | 137 |
| 碳酸盐陆架沉积体系 ..... | 398 |
| 碳酸盐缓坡沉积体系 ..... | 397 |
| 稳定组 .....       | 416 |
| 稳定器 .....       | 416 |
| 腐泥化作用 .....     | 88  |
| 腐泥煤 .....       | 88  |
| 腐植组 .....       | 89  |
| 腐植煤 .....       | 89  |
| 腐植酸 .....       | 89  |
| 腐植腐泥煤 .....     | 88  |
| 精查 .....        | 128 |
| 褐煤显微组分 .....    | 114 |

### 十五画

|               |     |
|---------------|-----|
| 横波法地震勘探 ..... | 115 |
| 槽波法地震勘探 ..... | 11  |
| 震源 .....      | 448 |

### 十六画以上

|              |     |
|--------------|-----|
| 潜孔锤钻进 .....  | 354 |
| 镜质组 .....    | 131 |
| 镜质组反射率 ..... | 132 |
| 膨润土 .....    | 349 |
| 凝胶化作用 .....  | 348 |
| 激发极化法 .....  | 121 |
| 瞬变电磁法 .....  | 392 |

# 测 量

## 二 画

几何定向 ..... 541

## 三 画

三边网条件平差 ..... 630  
三边网间接平差 ..... 629  
三边测量 ..... 628  
三角网条件平差 ..... 642  
三角网间接平差 ..... 641  
三角测量 ..... 633  
三角测量概算 ..... 636  
三角高程测量 ..... 639  
三角高程测量平差 ..... 640  
工业场地建筑物施工测量 ... 523  
大地坐标 ..... 503  
马头门施工测量 ..... 608

## 四 画

开采沉陷土地复垦测量 ..... 570  
开采沉陷预计 ..... 570  
井下导线测量平差 ..... 557  
井下导线测量误差 ..... 560  
井下高程测量 ..... 564  
井下高程测量平差 ..... 565  
井下基本控制导线测量 ..... 566  
井底车场施工测量 ..... 551  
井巷验收测量 ..... 552  
井架施工测量 ..... 553  
井塔施工测量 ..... 554  
井筒延深测量 ..... 555  
方位角 ..... 520  
水平角测量 ..... 647  
水准尺 ..... 650  
水准仪 ..... 651  
水准测量 ..... 648  
水准测量平差 ..... 649

## 五 画

平板仪 ..... 616  
平板仪测图 ..... 617  
平面坐标 ..... 619  
平面坐标系 ..... 620  
平面控制网技术设计 ..... 618  
电子速测仪 ..... 516  
生产矿井测量 ..... 645  
立井十字中线标定 ..... 596  
立井施工测量 ..... 593  
边角网平差 ..... 487  
边角测量 ..... 487

## 六 画

地形式面 ..... 616  
地表移动测量 ..... 509  
地表移动基本参数 ..... 512  
地面摄影测量 ..... 514  
地籍测量 ..... 513  
光电测距 ..... 528  
光电测距仪 ..... 529  
全球定位系统测量 ..... 623  
导入高程测量 ..... 504  
导线测量 ..... 505  
导线测量严密平差 ..... 506

## 七 画

近井点测量 ..... 546  
近景摄影测量 ..... 546  
坐标换算 ..... 668  
冻结凿井法施工测量 ..... 517  
沉井凿井法施工测量 ..... 499  
陀螺经纬仪 ..... 654  
陀螺经纬仪定向 ..... 655

## 八 画

矿山测量学 ..... 583  
矿井三量 ..... 576  
矿井联系测量 ..... 575  
矿井提升设备安装测量 ..... 577  
矿区平面控制测量 ..... 580  
矿区地形测量 ..... 578  
矿区铁路施工测量 ..... 581  
矿区高程控制测量 ..... 579  
矿体几何投影 ..... 584  
矿体几何制图 ..... 589  
矿体几何学 ..... 588  
岩体内部移动测量 ..... 662  
垂直角测量 ..... 501  
采区测量 ..... 492  
采区控制导线测量 ..... 493  
采煤工作面测量 ..... 491  
注浆凿井法施工测量 ..... 666  
实际损失煤量 ..... 645  
建井测量 ..... 544  
建筑物沉陷测量 ..... 545  
经纬仪 ..... 547  
贯通测量 ..... 524  
贯通测量误差预计 ..... 527  
巷道中腰线标定 ..... 535

## 九 画

钢卷尺 ..... 521  
测量平差 ..... 494  
测量误差 ..... 497  
误差椭圆 ..... 659  
钻井凿井法施工测量 ..... 667

## 十 画

铁路沉陷测量 ..... 653  
航空摄影测量 ..... 531  
高程系统 ..... 522

高程测量 ..... 521

### 十一画

基线测量 ..... 539  
洞室施工测量 ..... 519  
排土场测量 ..... 616  
帷幕凿井法施工测量 ..... 658  
距离测量 ..... 568  
悬挂罗盘仪 ..... 661

### 十二画

储量管理 ..... 500

### 十三画

遥感图象制图 ..... 662  
煤矿开采沉陷 ..... 611  
煤矿测量技术法规 ..... 609  
煤矿测量图 ..... 609  
《煤矿测量规程》 ..... 608  
煤柱留设 ..... 613  
数字地形测量 ..... 645

### 十六画

激光指向仪 ..... 541

### 二十一画

露天矿二量 ..... 602  
露天矿平面控制测量 ..... 603  
露天矿运输线路测量 ..... 606  
露天矿测量 ..... 601  
露天矿测量图 ..... 601  
露天矿高程控制测量 ..... 603  
露天采场边帮移动测量 ..... 596  
露天采场坐标系 ..... 600  
露天采场测量 ..... 597

# 条 目 英 文 索 引

## (INDEX OF ARTICLES)

### GEOLOGY

#### A

AC electrical prospecting  
 apparatus ..... 125  
 acoustic logging ..... 372  
 Alberta Coalfield ..... 4  
 alluvial fan and fan delta  
     depositional systems ..... 21  
 Appalachian Coalfield ..... 3  
 aquiclude ..... 98  
 aquifer ..... 107  
 associated elements in  
     coal ..... 329  
 associated mineral resources  
     of coal measures ..... 310

#### B

barrier coastal depositional  
     systems ..... 442  
 bauxite ..... 200  
 bentonite ..... 349  
 biofacies of coal  
     measures ..... 313  
 blocking loss in hole ..... 476

#### C

calculation of reserves ..... 28  
 caliper and deviation  
     logging ..... 160  
 carbonate ramp depositional  
     systems ..... 397

carbonate shelf depositional  
     systems ..... 398  
 categories of reserves ..... 26  
 change of coal-seam  
     thickness ..... 220  
 chemical property and  
     techniques of coal ..... 239  
 coal ..... 203  
 coal accumulating area ..... 137  
 coal-accumulating palaeo-  
     geography ..... 136  
 coal-accumulation belt ..... 135  
 coal ball ..... 242  
 coal basin ..... 251  
 coal basin analysis ..... 252  
 coal-bearing depositional  
     systems ..... 103  
 coal-bearing property ..... 103  
 coal-bearing series ..... 104  
 coal-bearing stratum of  
     China ..... 450  
 coalbed gas ..... 223  
 coalbed gas geology ..... 404  
 coalbed methane ..... 223  
 coal classification ..... 239  
 coal coring tool ..... 325  
 coal depositional environ-  
     ment ..... 213  
 coal depositional model ..... 231  
 coal drilling ..... 292  
 coal electrical prospecting ..... 285  
 coal exploration ..... 275  
 coal exploration report ..... 277  
 coal facies ..... 320

coalfield ..... 262  
 coalfield hydrogeology ..... 287  
 Coalfields of South Africa ..... 334  
 coalfield prediction ..... 288  
 coal-forming basin type ..... 253  
 coal-forming period ..... 137  
 coal-forming plant ..... 20  
 coal-forming process ..... 21  
 coal geologic map of  
     China ..... 456  
 coal geology ..... 282  
 coal geophysical  
     prospecting ..... 268  
 coal gravity prospecting ..... 290  
 coalification ..... 243  
 coal logger ..... 263  
 coal logging ..... 267  
 coal maceral ..... 317  
 coal magnetic prospecting ..... 265  
 coal measures ..... 104  
 coal metamorphism ..... 203  
 coal petrology ..... 326  
 coal quality evaluation ..... 328  
 coal rank ..... 244  
 coal recovery percent age ..... 325  
 coal reserves ..... 259  
 coal resource ..... 261  
 coal resource evaluation ..... 261  
 coal-rich zone ..... 90  
 coal seam, coalbed ..... 208  
 coal-seam correlation ..... 217  
 coal-seam floor contour  
     map ..... 216  
 coal-seam sampling ..... 210

coal seismic prospecting ..... 270  
 contact metamorphism of  
   coal ..... 246  
 control of surface water ..... 38  
 control of water hazard  
   in coal mine ..... 251  
 core recovery percentage ... 427  
 correlation of exploration  
   and mining information ... 396  
 Cretaceous-Jurassic coal-bearing  
   stratum ..... 460

## D

danger evaluation of gas  
   outburst ..... 407  
 Datong Coalfield ..... 37  
 DC electrical prospecting  
   apparatus ..... 449  
 deep burial metamorphism  
   of coal ..... 258  
 deltaic depositional  
   systems ..... 362  
 depression coal basin ..... 6  
 derrick ..... 478  
 derrick elevator ..... 479  
 detailed exploration ..... 128  
 device of break out ..... 347  
 dewatering depressurization  
   of mine ..... 179  
 diamond bit ..... 127  
 diamond drilling ..... 125  
 diatomite ..... 101  
 digital seismograph ..... 385  
 dipmeter logging ..... 359  
 directional drilling ..... 67  
 Donets Coalfield ..... 71  
 downhole hammer drilling ... 354  
 drill ..... 481  
 drill bit ..... 484  
 drill hole ..... 474  
 drilling efficiency ..... 483  
 drilling equipment ..... 482  
 drilling method ..... 474  
 drilling parameter ..... 472

drilling tool ..... 480  
 drill pump ..... 480  
 dynamic metamorphism of  
   coal ..... 240

## E

Early and Middle Jurassic  
   coal-bearing stratum ..... 439  
 Early Carboniferous coal-  
   bearing stratum ..... 437  
 Eerduosi Coalfield ..... 75  
 electrical logging ..... 60  
 electron microscopic investi-  
   gation of coal ..... 239  
 engineering geology of coal  
   mine ..... 249  
 environmental geology of  
   mining area ..... 189  
 environmental geology  
   survey of mining area ..... 190  
 estuarine-tidal flat deposi-  
   tional systems ..... 108  
 exinite ..... 354  
 exploitation along with  
   exploration ..... 8  
 exploration design ..... 156  
 exploration engineering  
   arrangement ..... 150  
 exploration means ..... 157  
 exploration stage ..... 151  
 exploration type ..... 153  
 extensional tectonics ..... 370

## F

fault coal basin ..... 69  
 fireclay ..... 333  
 flooding condition of  
   mine ..... 175  
 fluorescence analysis of coal  
   maceral ..... 318  
 fluvial depositional  
   systems ..... 110  
 frequency sounding

  method ..... 350  
 Fushun Coalfield ..... 86  
 fusinization ..... 393

## G

gas from coal, coal gas ..... 233  
 gas sampler ..... 404  
 gelification ..... 348  
 generalized exploration ..... 468  
 genetic types of coal ..... 238  
 geochemical facies of coal  
   measures ..... 305  
 geological description ..... 55  
 geological interpretation of  
   electrical prospecting data ... 62  
 geological interpretation of  
   logging data ..... 15  
 geological interpretation of  
   seismic data ..... 43  
 geological radar method ..... 53  
 geological record ..... 49  
 geological record of mine ... 168  
 geological structure of  
   coalfield ..... 273  
 geologic condition evalua-  
   tion of fully-mechanized  
   coal mining technology ... 465  
 geologic hazard in coal  
   mining area ..... 250  
 geophone ..... 124  
 geophysical data  
   processing ..... 39  
 geophysical logging facies  
   of coal measures ..... 306  
 graphite ..... 376  
 gravitational gliding  
   tectonics ..... 458  
 groundwater resource eval-  
   uation of mining area ..... 192  
 grouting for water-  
   blocking ..... 463

## H

|  |     |
|--|-----|
| high resolution seismic survey .....     | 93  |
| Hilt's rule .....                        | 421 |
| hole deviation .....                     | 476 |
| hole flushing .....                      | 474 |
| hole quality .....                       | 477 |
| Huainan Coalfield .....                  | 119 |
| humic acid .....                         | 89  |
| humic coal .....                         | 89  |
| humic-sapropelic coal .....              | 88  |
| huminite .....                           | 89  |
| hydrocarbon from coal .....              | 237 |
| hydrogeological drilling .....           | 391 |
| hydrogeological test .....               | 388 |
| hydrogeologic exploration .....          | 387 |
| hydrogeologic survey .....               | 386 |
| hydrogeologic type of coal deposit ..... | 247 |
| hydrogeologic type of mine .....         | 185 |
| hydrogeophysical prospecting .....       | 389 |

## I

|  |     |
|--|-----|
| igneous rock in coal measures .....    | 311 |
| Illinois Coalfield .....               | 430 |
| induced polarization method .....      | 121 |
| IP method .....                        | 121 |
| inertinite .....                       | 74  |
| in-seam seismic survey .....           | 11  |
| ISS .....                              | 11  |
| instrument of drilling parameter ..... | 472 |
| iron sulphide deposit .....            | 197 |

## J

|                        |     |
|------------------------|-----|
| Jharia Coalfield ..... | 123 |
| Jixi Coalfield .....   | 122 |

## K

|                                 |     |
|---------------------------------|-----|
| Kailuan Coalfield .....         | 148 |
| Kansk-Achinskiy Coalfield ..... | 158 |
| kaolin .....                    | 96  |
| karst collapse column .....     | 148 |
| Kuznetskiy Coalfield .....      | 162 |

## L

|  |     |
|--|-----|
| lacustrine depositional systems .....    | 117 |
| Late Permian coal-bearing stratum .....  | 408 |
| Late Triassic coal-bearing stratum ..... | 412 |
| limnic coal-bearing series .....         | 335 |
| liptinite .....                          | 416 |
| liptobiolith .....                       | 10  |
| liptofication .....                      | 11  |
| lithofacies of coal measures .....       | 314 |
| Liupanshui Coalfield .....               | 198 |

## M

|  |     |
|--|-----|
| maceral of brown coal .....                        | 114 |
| maceral of hard coal .....                         | 432 |
| macroscopic petrographic constituent of coal ..... | 327 |
| mathematical geology .....                         | 382 |
| metamorphic regularities of Chinese coal .....     | 452 |
| microhardness of coal .....                        | 317 |
| microlithotype of coal .....                       | 423 |
| mine construction geology .....                    | 163 |
| mine drainage .....                                | 176 |
| mine geological exploration .....                  | 174 |
| mine geophysical prospecting .....                 | 187 |
| mine geothermal .....                              | 164 |

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| mine hydrogeology .....            | 183 |
| mine inflow .....                  | 177 |
| mineral matter in coal .....       | 331 |
| mining geological regulation ..... | 173 |
| mining geological report .....     | 168 |
| mining geological structure .....  | 170 |
| mining geology .....               | 167 |
| motor head drive drill .....       | 68  |
| mud conditioner .....              | 337 |
| mud fluid .....                    | 336 |

## N

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| nappe tectonics .....   | 400 |
| natural coke .....      | 398 |
| non-core drilling ..... | 9   |

## O

|                     |     |
|---------------------|-----|
| oil from coal ..... | 238 |
| oil shale .....     | 435 |
| outflow test .....  | 85  |

## P

|   |     |
|---|-----|
| paralic coal-bearing series .....                 | 128 |
| peat .....  | 337 |
| peatification .....                               | 345 |
| peat swamp .....                                  | 346 |
| percussion drilling .....                         | 25  |
| percussive-rotary drilling .....                  | 24  |
| Permo-Carboniferous coal-bearing stratum .....    | 377 |
| petrological characteristic of Chinese coal ..... | 456 |
| physics property of coal .....                    | 239 |
| prediction of mine water bursting .....           | 185 |
| preliminary exploration .....                     | 425 |
| principal maps of coal exploration .....          | 278 |
| pumping test .....                                | 25  |

|                                     |  |                                     |                                     |
|-------------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Q</b>                            |  | seismic modelling                   | tungsten-carbide drilling ..... 434 |
| Qinshui Coalfield ..... 356         |  | technique ..... 47                  |                                     |
| Quaternary peat-bearing             |  | seismic reflection survey ..... 78  | <b>U</b>                            |
| stratum ..... 58                    |  | seismic refraction survey ..... 447 | underground drilling ..... 159      |
| <b>R</b>                            |  | seismic source ..... 448            | Upper Silesia Coalfield ..... 369   |
| radioactivity logging ..... 81      |  | seismostratigraphy ..... 42         | Ürümqi Coalfield ..... 416          |
| radio penetration method ... 418    |  | seismostratigraphy facies           |                                     |
| reconnaissance ..... 351            |  | of coal measures ..... 308          | <b>V</b>                            |
| regulation of mine                  |  | semivitrinite ..... 8               | vertical seismic profiles           |
| hydrogeology ..... 184              |  | sequence stratigraphy anal-         | survey ..... 33                     |
| remote-sensing techno-              |  | ysis in coal measures ..... 294     | VSP ..... 33                        |
| logy ..... 427                      |  | shaft inflow ..... 130              | vitritinite ..... 131               |
| requirement of coal-                |  | special hydrogeologic               | vitritinite reflectance ..... 132   |
| accumulation ..... 146              |  | exploration ..... 463               |                                     |
| reserves estimation map ..... 32    |  | spindle type drill ..... 196        | <b>W</b>                            |
| resistivity method ..... 65         |  | stabilizer ..... 416                | water abundance                     |
| reverse circulation drilling ... 80 |  | stone-like coal ..... 375           | coefficient ..... 90                |
| Rhine Coalfield ..... 195           |  | strike-slip tectonics ..... 469     | water supply exploration of         |
| rock drillability ..... 427         |  | superhard material cutter ..... 19  | mining area ..... 188               |
| rotary drill ..... 464              |  | Sydney Coalfield ..... 422          | weathering of coal ..... 241        |
| rotary drilling ..... 120           |  | syndepositional structure ... 398   | wireline core drilling ..... 374    |
| Ruhr Coalfield ..... 199            |  |                                     |                                     |
| <b>S</b>                            |  | <b>T</b>                            | <b>Y</b>                            |
| sampling for gas content            |  | Taiwan Coalfield ..... 395          | Yimin Coalfield ..... 430           |
| in coal-seam ..... 230              |  | tectonic type ..... 98              | Yorkshire-Notting-hamshire          |
| saprofication ..... 88              |  | telemagmatic metamorphism           | Coalfield ..... 436                 |
| sapropelic coal ..... 88            |  | of coal ..... 255                   |                                     |
| search for coal ..... 447           |  | temperature logging ..... 415       | <b>Z</b>                            |
| sedimentary facies of coal          |  | Tertiary coal-bearing               | Zhaotong Coalfield ..... 445        |
| measures ..... 304                  |  | stratum ..... 55                    |                                     |
| sedimentary structures of           |  | transient electromagnetic           | 3-multiple working method           |
| coal measures ..... 301             |  | method ..... 392                    | of exploration procedure ... 361    |
|                                     |  | TEM method ..... 392                | 3-D seismic survey ..... 366        |
|                                     |  | transverse wave seismic             |                                     |
|                                     |  | survey ..... 115                    |                                     |
|                                     |  | trouble in hole ..... 161           |                                     |
|                                     |  | tungsten-carbide bit ..... 435      |                                     |

## SURVEY

### A

|  |     |
|--|-----|
| actual loss of reserves .....                      | 645 |
| adjustment of leveling .....                       | 649 |
| adjustment of triangulation network .....          | 487 |
| adjustment of trigonometric leveling .....         | 640 |
| adjustment of underground height measurement ..... | 565 |
| adjustment of underground traverse survey .....    | 557 |
| aerophotogrammetry .....                           | 531 |
| azimuth .....                                      | 520 |

### B

|   |     |
|---|-----|
| base measurement .....                    | 539 |
| basic parameter of surface movement ..... | 512 |
| building subsidence survey ..             | 545 |

### C

|  |     |
|--|-----|
| cadastral survey .....                                   | 513 |
| chamber construction survey .....                        | 519 |
| close-range photogrammetry .....                         | 546 |
| coal face survey .....                                   | 491 |
| coal mine surveying map ...                              | 609 |
| coal mine survey rule .....                              | 608 |
| coal mining subsidence .....                             | 611 |
| coal pillar design .....                                 | 613 |
| condition adjustment of triangulation network .....      | 642 |
| condition adjustment of trilateration network .....      | 630 |
| connection survey of shaft ...                           | 575 |
| construction survey for curtain wall shaft sinking ..... | 658 |

684

|   |     |
|---|-----|
| construction survey for deep shaft sinking .....      | 499 |
| construction survey for grouting sinking .....        | 666 |
| construction survey for headframe .....               | 553 |
| construction survey for shaft boring .....            | 667 |
| construction survey for shaft bottom .....            | 551 |
| construction survey for shaft sinking .....           | 593 |
| construction survey for shaft sinking by freezing ... | 517 |
| construction survey for shaft-tower .....             | 554 |
| coordinate conversion .....                           | 668 |

### D

|  |     |
|--|-----|
| digital topographic survey ...         | 645 |
| displacement survey of pit slope ..... | 596 |
| distance measurement .....             | 568 |
| dump survey .....                      | 616 |

### E

|   |     |
|---|-----|
| electronic tacheometer .....                        | 516 |
| electro-optical distance measurement .....          | 528 |
| electro-optical distance measuring instrument ..... | 529 |
| error ellipse .....                                 | 659 |
| error of underground traverse survey .....          | 560 |
| error prediction of holing-through survey .....     | 527 |

### F

|                        |  |
|------------------------|--|
| footage measurement of |  |
|------------------------|--|

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| shaft and roadway ..... | 552 |
|-------------------------|-----|

### G

|                                     |     |
|-------------------------------------|-----|
| geodetic coordinate .....           | 503 |
| geometric orientation .....         | 541 |
| geometrization of ore body .....    | 589 |
| geometry of ore body .....          | 588 |
| gyroscopic orientation survey ..... | 655 |
| gyro-theodolite .....               | 654 |

### H

|  |     |
|--|-----|
| hanging compass .....                          | 661 |
| height survey .....                            | 521 |
| height system .....                            | 522 |
| holing-through survey .....                    | 524 |
| horizontal angle survey .....                  | 647 |
| horizontal control survey of mining area ..... | 580 |
| horizontal coordinate .....                    | 619 |
| horizontal coordinate system .....             | 620 |

### I

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| image mapping of remote sensing ..... | 662 |
| induction height survey .....         | 504 |
| ingate construction survey ...        | 608 |

### L

|                      |     |
|----------------------|-----|
| laser guider .....   | 541 |
| level .....          | 651 |
| leveling .....       | 548 |
| leveling staff ..... | 650 |



|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>M</b>  | production mine survey ..... 645<br>projection of ore body ..... 584   | <b>T</b>   |
| <b>N</b>  | <b>R</b>   | technical design for horizontal<br>control network ..... 618<br>technology laws of coal<br>mine survey ..... 609<br>terrestrial photogram-<br>metry ..... 514<br>theodolite ..... 547<br>Three Class Reserves of<br>mine ..... 576<br>topographic surface ..... 516<br>topographic survey in<br>mining area ..... 578<br>traverse survey ..... 505<br>traversing for mining<br>district control ..... 493<br>triangulation ..... 487<br>triangulation ..... 633<br>trigonometric leveling ..... 639<br>trilateration survey ..... 628<br>Two Class Reserves of<br>surface mine ..... 602 |
| <b>O</b>  | <b>S</b>   | <b>U</b>   |
| observation error ..... 497<br>open-pit coordinate<br>system ..... 600<br>open-pit height control<br>survey ..... 603<br>open-pit horizontal control<br>survey ..... 603<br>open-pit mining map ..... 601<br>open-pit survey ..... 597  | setting-out of center line and<br>slope of roadway ..... 535<br>setting-out of cross line<br>through shaft center ..... 596<br>shaft building survey ..... 544<br>shaft-deepening survey ..... 555<br>steel tape ..... 521<br>surface mine survey ..... 601<br>surface mine transportation<br>route survey ..... 606<br>surface movement survey ... 509<br>survey adjustment ..... 494<br>survey by global positioning<br>system ..... 623<br>survey for internal move-<br>ment of rock mass ..... 662<br>survey for shaft winding<br>plant installation ..... 577 | underground basic control<br>traverse survey ..... 566<br>underground height measu-<br>rement ..... 564  |
| <b>P</b>  | <b>V</b>   | vertical angle survey ..... 501<br>vertical control survey of<br>mining area ..... 579   |
| parameter adjustment of<br>triangulation network ..... 641<br>parameter adjustment of<br>trilateration network ..... 629<br>plane-table ..... 616<br>plane-table mapping ..... 617<br>prediction of mining<br>subsidence ..... 570<br>preliminary calculation of<br>triangulation ..... 636 |  |  |

# 条目及条目内容主题分析汉语拼音索引

## 说 明

一、本索引是全卷条目和条目内容的主题分析汉语拼音索引。索引主题按汉语拼音字母顺序和声调(阴平、阳平、上声、去声)顺序排列;笔画数相同的按起笔笔形一(横)、丨(竖)、丿(撇)、丶(点)、一(折,包括乚乚乚等)的顺序排列。第一字相同时,按第二字,余类推。

二、设有条目的主题用黑体字,未设条目的主题用仿宋体字。

三、索引主题之后的阿拉伯数字是主题内容所在的页码,数字之后的小写拉丁字母表示索引内容所在的版面区域。本卷正文的版面区域划分如右图。

|   |   |
|---|---|
| a | d |
| b | e |
| c | f |

## 地 质

### A

**阿巴拉契亚煤田** ..... 3a  
 阿干镇煤田 ..... 142d  
**艾伯塔煤田** ..... 4d  
 艾理震相 ..... 12a  
 暗淡煤 ..... 328a  
 暗煤 ..... 327e  
 坳拉槽煤盆地 ..... 255a  
**坳陷煤盆地** ..... 6c, 254d  
 澳大利亚矿产勘查阶段 ..... 153b

### B

八道湾组 ..... 418a  
 巴拉洪群 ..... 162c  
 白色捕虏体 ..... 246f  
 白铁矿 ..... 197e  
 白垩纪聚煤带 ..... 135e  
 斑脱岩 ..... 349a

板内坳陷煤盆地 ..... 254f  
 半暗煤 ..... 328a  
 半暴露煤田 ..... 262e  
 半地堑 ..... 370d  
 半地堑式煤盆地 ..... 69e  
 半工业性试验煤样 ..... 211a  
**半镜质组** ..... 8a, 434a  
 半亮煤 ..... 327f  
 半丝质体 ..... 74d, 394a, 434b  
 半掩盖煤田 ..... 262e  
 半隐伏煤田 ..... 262e  
 半隐伏煤田普查 ..... 352b  
 半隐伏区找煤 ..... 447d  
 半圆弧形唇面 ..... 127f  
 半自动测井仪 ..... 263b  
 伴生褶皱 ..... 402e  
 包曼(储量计算)法 ..... 29e  
 孢粉对比法 ..... 218f  
 孢粉(煤)样 ..... 212e  
 孢粉体 ..... 355b, 434b  
 孢子残植煤 ..... 10e

孢子体 ..... 355b  
 薄层 ..... 301e  
 薄煤层 ..... 210b  
 保有储量 ..... 259f  
 饱和磁力仪 ..... 266b  
 暴露成因(沉积)  
     构造 ..... 303e, 301c  
 暴露煤田 ..... 262e  
 暴露煤田普查 ..... 351f  
 暴露区找煤 ..... 447b  
 北方(第三纪含煤地层) ..... 55f  
 北方区(早中侏罗世含煤  
     地层) ..... 439f  
 贝利河组 ..... 5a  
 背斜 ..... 170f  
 被动场法 ..... 269a, 285d  
 被动遥感 ..... 428a  
 太溪组 ..... 377f  
 崩塌 ..... 250e  
 泵房 ..... 176d  
 泵量 ..... 472c

泵量测量 ..... 473c  
 泵吸反循环 ..... 80d  
 泵压测量 ..... 473c  
**边采边探** ..... 8c  
 编码 ..... 386b  
 变孔源距观测系统 ..... 34d  
 变温带 ..... 164c  
 辫状河 ..... 112c  
 辫状河沉积 ..... 112d  
 标志层 ..... 218b  
 标志层对比法 ..... 218b  
 表面活性剂 ..... 337d  
 表镶聚晶金刚石钻头 ..... 127d  
 表镶天然金刚石钻头 ..... 127c  
 宾夕法尼亚系 ..... 3b  
 滨海地区聚煤模式 ..... 231e  
 滨海强覆水沼泽相 ..... 320d  
 滨浅湖相 ..... 118b  
 波动方程法 ..... 49b  
 波痕 ..... 302f  
 波浪三角洲沉积 ..... 364f  
 波谱分析法 ..... 240a  
 波谱仪 ..... 239f  
 波状层理 ..... 302d  
 波状拗陷聚煤盆地 ..... 6c  
 波阻抗 ..... 271a  
 剥层法(采样) ..... 211d  
 补偿密度测井 ..... 83c  
 补偿声速测井 ..... 373b  
 补给(水)量 ..... 192e  
 补给型水源 ..... 193a  
 不成对电极 ..... 60d  
 不分散低固相泥浆 ..... 336f  
**不取心钻进** ..... 9d  
 不取心钻头 ..... 484c  
 不稳定煤层 ..... 153f  
 不协调褶皱 ..... 170f  
 布格校正 ..... 292a  
 布格重力异常 ..... 292a

## C

(采掘工作面)水害预测 ..... 184c  
 采勘对比 ..... 396d  
 采区地质说明书 ..... 55c

采样间隔 ..... 385d  
 参数测深法 ..... 350d  
**残植化作用** ..... 11a  
**残植煤** ..... 10a, 11c  
 残植化作用 ..... 11a, 21e  
 残植煤 ..... 10a, 11c  
 槽波 ..... 11d  
 槽波地震仪 ..... 12b  
**槽波法地震勘探** ..... 11c  
 (槽波法)数据处理 ..... 12c  
 侧向测井 ..... 61f  
 (测井)沉积环境分析 ..... 17d  
 (测井)单孔地质解释 ..... 15d  
 (测井)地面控制仪 ..... 263b, 264f  
 (测井)定厚解释 ..... 16a  
 (测井)定性解释 ..... 15d  
 (测井)煤层分析 ..... 16b  
 测井曲线幅度 ..... 307d  
 测井曲线形状 ..... 307e  
 (测井)曲线转换 ..... 41a  
 (测井)深度编码装置 ..... 265a  
 (测井)物性标志层识别 ..... 17c  
 测井相 ..... 306f  
 (测井)岩石力学强度分析 ..... 17b  
 (测井)岩性分析 ..... 16b  
**测井资料地质解释** ..... 15a  
 测水组 ..... 437f  
 测图观测点 ..... 280b  
 层分辨率Y-Y测井 ..... 83b  
 层间距(对比)法 ..... 218b  
 层理构造 ..... 301d  
 层理类型 ..... 302b  
 层面 ..... 301d  
 层面构造 ..... 302f  
 层位控制钻孔 ..... 164a  
 层系 ..... 301e  
 层系组 ..... 301e  
 层序 ..... 294d  
 层序地层单元 ..... 252d  
 层序类型 ..... 296c  
 层状火成岩岩体 ..... 311e  
 层状藻类体 ..... 355f, 432f, 434c  
 铲羊齿-古芦木-须羊齿  
     植物化石组合 ..... 438c  
 铲状断层 ..... 370b

长期水文观测孔 ..... 391e  
 长兴组 ..... 411a  
 长源距Y-Y测井 ..... 83b  
 超导磁力仪 ..... 266c  
 超短源距Y-Y测井 ..... 83b  
 超前水平式钻孔 ..... 179f  
 超声成象测井 ..... 374a  
 超无烟煤阶段 ..... 203b  
**超硬材料切削具** ..... 19c  
 潮道沉积 ..... 109d  
 潮间带沉积 ..... 110a  
 潮砂脊 ..... 109a  
 潮上带沉积 ..... 110b  
 潮湿扇 ..... 23d  
 潮汐三角洲沉积 ..... 365c  
 潮下带沉积 ..... 110a  
 辰溪组 ..... 410f  
 沉积充填分析 ..... 252d  
 沉积构造分类 ..... 301b  
 沉积环境测井 ..... 308b  
 沉积磷酸盐 ..... 305d  
 沉积体系 ..... 103b, 294e, 252e  
 沉积体系域 ..... 252e  
 沉积相 ..... 304c  
 沉积相地球化学标志 ..... 305b  
 沉积相分类 ..... 304d  
 沉积相分析 ..... 304f  
 沉积型(高岭土) ..... 97b  
 沉积型铝土矿 ..... 201c  
 沉积型(耐火粘土) ..... 333e  
 沉积型(膨润土) ..... 349d  
 沉积岩成因标志 ..... 304f  
 沉积岩结构 ..... 315e  
 沉降历史 ..... 253b  
 成对电极 ..... 60d  
 成分数据统计分析 ..... 384e  
 成煤期 ..... 137a  
 成煤温度 ..... 203c, 257b  
 成煤物质 ..... 320f  
**成煤植物** ..... 20c, 345a, 346a  
**成煤作用** ..... 21d, 284d  
 城子河组 ..... 122e  
 承压含水层 ..... 108c  
 齿形(测井)曲线 ..... 308a, 307f  
 充电法 ..... 286e

充电法测井 ..... 390c  
 充电率 ..... 122a  
 充分分解腐木质体 ..... 89f  
 充气泥浆冲洗介质 ..... 475d  
 充水含水层 ..... 108d  
 充水强度 ..... 175f  
 充水水源 ..... 175c  
 充水通道 ..... 175e  
 冲断面 ..... 400f  
 冲断推覆体 ..... 401f  
 冲击次数 ..... 472d  
**冲击回转钻进** ..... 24c  
 (冲击回转钻进)碎岩机理 ..... 24f  
 冲击频率 ..... 472d  
 冲击器 ..... 24d  
 冲击器工作频率测量 ..... 473c  
 冲击式钻机 ..... 481b  
**冲击钻进** ..... 25a  
 冲击钻进参数 ..... 472d  
 冲积扇 ..... 21f  
**冲积扇和扇三角洲沉积体系** ..... 21f  
 冲洗介质 ..... 475b  
 冲洗液 ..... 475b  
 冲洗液量 ..... 472c  
 重叠回线法 ..... 392f  
**抽水试验** ..... 25d  
 抽水试验孔 ..... 391c  
 抽水试验设备 ..... 25f  
 初步勘探 ..... 425c  
 初步普查 ..... 447a  
 初级定向钻进 ..... 67e  
 初至波 ..... 448d  
 储存(水)量 ..... 192f  
 (储量)地质误差 ..... 28a  
 (储量)方法误差 ..... 28a  
 储量分级 ..... 26d  
**储量级别** ..... 26d  
 (储量)技术误差 ..... 28a  
**储量计算** ..... 28b  
 (储量计算)参数 ..... 28d  
**储量计算图** ..... 32f  
 (储量)类比误差 ..... 28a  
 (储量)推断误差 ..... 28a  
 储量误差 ..... 28a

储水隔水层 ..... 98c  
 处理(钻孔)事故工具 ..... 481a  
 传递带 ..... 402e  
 串珠状(煤层) ..... 208e, 209a  
 垂向分辨率 ..... 93d  
 垂直地震测线法 ..... 33e  
**垂直地震剖面法勘探** ..... 33e  
 垂直叠加 ..... 40d  
 垂直降低水位孔 ..... 179c  
 垂直偏振横波 ..... 116a  
 纯剪切 ..... 470a  
 纯钻进台时 ..... 483f  
 层面形状 ..... 127e  
 瓷土 ..... 96a  
 磁秤 ..... 266a  
 磁法勘探资料解释 ..... 266d  
 磁黄铁矿 ..... 197e  
 磁力仪 ..... 266a  
 磁通门磁力仪 ..... 266b  
 磁异常 ..... 265d  
 丛分析 ..... 383b  
 粗分散泥浆 ..... 336e  
 粗粒体 ..... 74d, 434b  
 簇分析 ..... 383b

## D

达莫德尔煤系 ..... 124a  
 打捞器总成 ..... 375a  
 打入式过滤装置 ..... 179f  
 大潮差海岸 ..... 442f  
 大口径抽水试验 ..... 25e  
 大口径钻孔 ..... 474d  
 大垅组 ..... 411a  
 大陆边缘裂谷 ..... 255b  
 大陆裂谷 ..... 255a  
 大磨拐河组 ..... 460e  
**大同煤田** ..... 37a  
 大同组 ..... 37c  
 大型交错层理 ..... 302e  
 大型(矿井地质)构造 ..... 170e  
 大羽羊齿植物群 ..... 411c  
 单点电阻法测井 ..... 61c  
 单发射单接收声速测井 ..... 372d  
 单发射双接收声速测井 ..... 373a

单纪煤田 ..... 262d  
 单剪切 ..... 470b  
 单孔抽水试验 ..... 25d  
 单色荧光光度法 ..... 318e  
 单向斜层理 ..... 302e  
 导波 ..... 11d  
 倒转褶皱 ..... 170f  
 德国矿产勘查阶段 ..... 153b  
 等高线(储量计算)法 ..... 29e  
 等时地层格架 ..... 252d  
 等时切片图 ..... 368f  
 等视电阻率  $\rho_s$  平面图 ..... 64f  
 等视电阻率  $\rho_s$  剖面图 ..... 63e  
 等性块段指数法评价 ..... 466f  
 等值线(储量计算)法 ..... 31e  
 等  $t_0$  平面图 ..... 46a  
 邓卡德组 ..... 3c  
 低等植物 ..... 20c  
 低轨道遥感 ..... 427f  
 低空遥感 ..... 427f  
 低蜡原油 ..... 238f  
 低硫煤 ..... 330c  
 低能  $\gamma$ - $\gamma$  测井 ..... 83f  
 低位泥炭沼泽 ..... 347a  
 低位沼泽泥炭堆积环境 ..... 213e  
 低温干馏半工业性试验  
 (煤)样 ..... 212c  
 低压潜孔锤 ..... 354d  
 低中硫煤 ..... 330c  
 滴道组 ..... 122e  
 底板含水层延深孔 ..... 391e  
 底部梯度电极系 ..... 61c  
 底粘土 ..... 208b  
 底喷式唇面 ..... 128b  
 地表疏干方式 ..... 180d  
 地表水调查 ..... 387a  
**地表水防治** ..... 38c  
 地槽 ..... 254a  
**地层模拟技术** ..... 47c  
 地滚波 ..... 34d  
 地滚波 ..... 79a  
 地垒 ..... 171f  
 地貌调查 ..... 386f  
 地面地质雷达 ..... 54c  
 地面放水试验 ..... 85f, 86a

|                         |                  |                         |                  |                     |            |
|-------------------------|------------------|-------------------------|------------------|---------------------|------------|
| 地面遥感 .....              | 427f             | 地质构造复杂程度评价 .....        | 466a             | 电极电位测井 .....        | 60c        |
| 地面钻探 .....              | 174f             | (地质)构造类别 .....          | 153d             | 电极系 .....           | 60d        |
| 地堑 .....                | 370d             | 地质环境 .....              | 189d             | 电流法测井 .....         | 61c        |
| 地堑 .....                | 171f             | (地质)计算机模拟 .....         | 382c             | 电剖面法 .....          | 67a        |
| 地堑式煤盆地 .....            | 69e              | 地质界线 .....              | 279b             | 电渗降低水位设施 .....      | 179e       |
| 地球化学测井 .....            | 81c              | 地质块断(储量计算)法 .....       | 29b              | 电位补偿电路 .....        | 449d       |
| 地球化学特征对比法 .....         | 220b             | <b>地质雷达法</b> .....      | <b>53d</b>       | 电位电极系测井 .....       | 60f        |
| <b>地球物探勘探数据</b>         |                  | (地质雷达)反射测深法 .....       | 54f              | 电性-地质综合剖面图 .....    | 64c        |
| <b>处理</b> .....         | <b>39f, 269f</b> | (地质雷达)共中心点法 .....       | 54f              | 电子导体类岩石 .....       | 65d        |
| 地热梯度 .....              | 165a             | (地质雷达)广角反射折             |                  | 电阻率测深法 .....        | 67a        |
| 地温测量 .....              | 130b             | 射法 .....                | 54f              | <b>电阻率法</b> .....   | <b>65b</b> |
| 地温测量 .....              | 166d             | (地质雷达)透射测深法 .....       | 54f              | 电阻率剖面法 .....        | 67a        |
| 地温梯度 .....              | 165a             | 地质雷达仪 .....             | 54a              | 叠层构造 .....          | 303f       |
| 地温梯度计算 .....            | 167a             | 地质数据自动化处理 .....         | 384a             | 叠层石 .....           | 304a       |
| 地下疏干方式 .....            | 181f             | (地质)数学模拟 .....          | 382c             | 叠加 .....            | 40d        |
| 地下水露头调查 .....           | 387a             | (地质)数学模型 .....          | 382d             | 叠瓦式断裂系 .....        | 401f       |
| 地下水资源调查 .....           | 188c             | <b>地质说明书</b> .....      | <b>55b</b>       | 叠瓦状断层 .....         | 171f       |
| 地下钻探 .....              | 159d, 174f       | (地质)素描图 .....           | 49f              | 叠锥 .....            | 303f       |
| 地震 .....                | 250b             | (地质体)体积效应 .....         | 62e              | 顶板岩层等性块段 .....      | 467f       |
| 地震层序分析 .....            | 42c              | 地质填图 .....              | 157c             | 顶部梯度电极系 .....       | 61c        |
| 地震道 .....               | 271b             | 地质统计学 .....             | 383f             | 顶超 .....            | 42d        |
| <b>地震地层学</b> .....      | <b>42a</b>       | 地质统计学(储量计算)法 .....      | 32b              | 顶底板稳定性评价 .....      | 466e       |
| (地震)二维数值模拟 .....        | 48f              | (地质图)绘制方法 .....         | 279e             | 定点持续测量(流量           |            |
| (地震反射波法)分辨率 .....       | 80b              | 地质遥感 .....              | 157c             | 测井) .....           | 390e       |
| 地震反射法 .....             | 78a              | <b>第三纪含煤地层</b> .....    | <b>55f, 451b</b> | <b>定向钻进</b> .....   | <b>67e</b> |
| 地震分辨率 .....             | 93d              | 第三纪聚煤带 .....            | 135f             | 定向钻孔 .....          | 68a        |
| 地震构造解释 .....            | 43b              | <b>第四纪含泥炭地层</b> .....   | <b>58d, 451d</b> | 东北第三纪煤田 .....       | 145a       |
| (地震)构造图 .....           | 46a              | 递变层理 .....              | 302c             | 东北断陷型煤田 .....       | 142f       |
| <b>地震勘探资料地质解释</b> ..... | <b>43b</b>       | 滇藏聚煤区 .....             | 145b             | 东北聚煤区 .....         | 142e       |
| 地震烈度 .....              | 250e             | 典型趋势面分析 .....           | 383a             | 东北内蒙古晚侏罗早           |            |
| 地震剖面 .....              | 43c              | 点测(流量测井) .....          | 390d             | 白垩世聚煤区 .....        | 142e       |
| (地震)剖面地质解释 .....        | 43d              | 点群分析 .....              | 383b             | 东大窑灰岩 .....         | 378f       |
| 地震时间剖面 .....            | 43c              | <b>电测井</b> .....        | <b>60a</b>       | 东南区(晚三叠世含煤          |            |
| (地震)数值模拟 .....          | 47c              | 电测井探管 .....             | 263f             | 地层) .....           | 415a       |
| (地震)物理模拟 .....          | 49c              | 电测深法 .....              | 67a              | 动力式泵 .....          | 480b       |
| 地震相 .....               | 308c             | 电磁频率测深法 .....           | 350d             | <b>动力头式钻机</b> ..... | <b>68f</b> |
| 地震相单元标志 .....           | 308d             | 电动控管机 .....             | 348a             | 动力用煤煤质评价指标 .....    | 328e       |
| 地震相分析 .....             | 42c              | 电法-地震-钻探综合              |                  | 动圈式检波器 .....        | 124e       |
| 地震信号(的)数字化 .....        | 385d             | (找煤)法 .....             | 447c             | 动态型水源 .....         | 193a       |
| (地震)一维数值模拟 .....        | 48c              | (电法)反演解释 .....          | 41c              | 动校正 .....           | 40b        |
| 地震折射法 .....             | 447f             | 电法勘探数据处理 .....          | 41b              | 斗岭煤系 .....          | 408f       |
| 地震子波 .....              | 95a              | <b>电法勘探资料地质解释</b> ..... | <b>62c</b>       | 短槽 .....            | 447d       |
| <b>地质编录</b> .....       | <b>49d</b>       | (电法)正演模拟 .....          | 41c              | 短源距 Y-Y 测井 .....    | 83b        |
| 地质测量 .....              | 157c             | 电法-钻探综合(找煤)法 .....      | 447e             | 短轴重力低型 .....        | 292c       |
| 地质调度图 .....             | 361c             | 电火花震源 .....             | 449a             | 短轴重力高型 .....        | 292b       |

短轴状褶皱 ..... 170f  
 断层 ..... 170f  
 断层长度指数 ..... 466d  
 断层破坏指数法 ..... 466d  
 断层强度指数 ..... 466d  
 断层条数指数 ..... 466d  
 断管 ..... 161d  
 断裂拗陷煤盆地 ..... 69e  
 断坪 ..... 400f  
 断坡 ..... 400f  
**断陷煤盆地** ..... 69e, 254c  
 对应分析 ..... 383d  
 顿巴斯 ..... 72a  
**顿涅茨煤田** ..... 71f  
 多边形(储量计算)法 ..... 31a  
 多次叠加 ..... 79a  
 多次反射波 ..... 79a  
 多次覆盖 ..... 79a  
 多光谱遥感 ..... 428a  
 多纪煤田 ..... 262d  
 多字型构造 ..... 99b  
 朵状三角洲 ..... 363a  
 惰屑体 ..... 74f  
**惰质组** ..... 74b, 433c, 434b

## E

峨嵋山组 ..... 409c  
**鄂尔多斯煤田** ..... 75a  
 二叠纪聚煤带 ..... 135d  
 二分量检波器 ..... 124f  
 二阶梯 V 形槽唇面 ..... 128b

## F

反滤波 ..... 40e  
 反射波动力学特征 ..... 43e  
 反射波法 ..... 78a  
**反射波法地震勘探** ..... 78a  
 反射波法资料解释 ..... 80a  
 反射波运动学特征 ..... 43c  
 反射波资料构造解释 ..... 43c  
 反射(槽)波法 ..... 12b  
 反射率梯度 ..... 422b  
 反渗透帷幕 ..... 180a

反循环冲洗 ..... 475b  
 反循环连续取心钻进 ..... 80f  
**反循环钻进** ..... 80b  
 反褶积 ..... 40e  
 反 Q 滤波 ..... 95d  
 方格法(采样) ..... 211d  
 方探井地质编录 ..... 51b  
 方位频率图 ..... 359f  
 方向数据统计 ..... 384e  
 放电曲线 ..... 121e  
**放射性测井** ..... 81b  
 放射性能谱测井 ..... 81c  
 放射性元素试验样 ..... 213b  
 放射状疏水孔 ..... 179f  
**放水试验** ..... 85c  
 飞夹峰 ..... 400f  
 非均质含水层 ..... 108c  
 非零孔源距观测系统 ..... 34d  
 非图象式遥感 ..... 428d  
 非稳定流抽水 ..... 25e  
 非旋转型剪切 ..... 470a  
 非炸药震源 ..... 448f  
 分层煤心采取率 ..... 325ab  
 分层煤样 ..... 211f  
 分层岩心采取率 ..... 427a  
 分段截流式(排水) ..... 177a  
 分离回线法 ..... 393b  
 分泌菌类体 ..... 74f  
 分泌体 ..... 432f  
 分区直通式(排水) ..... 176f  
 分数维 ..... 384d  
 分析型透射电镜 ..... 240b  
 分形理论 ..... 384d  
 风动冲击器 ..... 24e  
 风化残积型(耐火粘土) ..... 333f  
 风化残余型(高岭土) ..... 97a  
 风化残余型铝土矿 ..... 201b  
 风化淋滤型(高岭土) ..... 97a  
 风化煤 ..... 242b  
 风化型(高岭土) ..... 97a  
 风化型(膨润土) ..... 349c  
 缝合线 ..... 303f  
 芙蓉山组 ..... 438a  
 扶正器 ..... 416b  
 浮沉煤样 ..... 212c

**抚顺煤田** ..... 86d  
 抚顺群 ..... 86d  
 抚顺植物群 ..... 58a  
 辅助勘探线 ..... 150f  
 辅助台时 ..... 483f  
 腐木质体 ..... 89e  
 腐泥 ..... 88c  
**腐泥化作用** ..... 88d, 21d  
**腐泥煤** ..... 86d  
**腐植腐泥煤** ..... 88f, 88d  
 腐植化作用 ..... 345e  
**腐植煤** ..... 89c  
**腐植酸** ..... 89d, 345e, 346c, 341b  
 腐植酸煤样 ..... 212e  
 腐植质 ..... 346a, 345f  
**腐植组** ..... 89d  
 腐植腐泥煤 ..... 88f  
 腐植煤 ..... 89c  
 覆水沼泽相 ..... 320c  
 阜新组 ..... 460e  
 复合成因(沉积)构造 ..... 304b  
 复合式钻机 ..... 482b  
 复杂(地质)构造 ..... 153e  
 复杂结构煤层 ..... 208e  
 赋煤构造 ..... 274a  
 赋煤盆地 ..... 262b  
 傅里叶级数分析 ..... 383a  
**富煤带** ..... 90c  
 富煤中心 ..... 90c  
 富氢镜质体 ..... 132c  
**富水系数** ..... 90e  
 富营养泥炭 ..... 340f  
 富营养型植物 ..... 345b

## G

钙基膨润土 ..... 349c  
 干气 ..... 235d  
 干式堵漏 ..... 476e  
 “干燥”沼泽相 ..... 320c  
 感应脉冲瞬变法 ..... 392a  
 赣浙闽区(早石炭世含煤  
 地层) ..... 438b  
 冈瓦纳系 ..... 124a  
 高等植物 ..... 20c

高分辨率 Y-Y 测井 ..... 83b  
**高分辨率地震勘探** ..... 93a, 272a  
 高分辨率透射电镜 ..... 240b  
 高级储量 ..... 27c  
 高镜组 ..... 432f  
 高空遥感 ..... 427f  
 高蜡原油 ..... 238f  
 高岭石族矿物 ..... 96b  
**高岭土** ..... 96a  
 (高岭土)资源分布 ..... 97d  
 高岭岩 ..... 96a  
 高硫煤 ..... 330c  
 高铝粘土 ..... 200f  
 高铝粘土 ..... 333a  
 高位泥炭沼泽 ..... 347a  
 高位沼泽泥炭堆积环境 ..... 213d  
 高压潜孔锤 ..... 354d  
 高于潜水位沼泽 ..... 320e  
 格子蕨-网叶蕨植物群 ..... 415c  
**隔水层** ..... 98b  
 (隔水层)安全厚度 ..... 98d  
 隔水层最小厚度 ..... 98d  
 根土岩 ..... 208b  
 工业储量 ..... 27d  
 工艺煤样 ..... 210f  
 共反射点 ..... 79d  
 共反射点道集 ..... 79d  
 共深度点 ..... 79d  
 共深度点道集 ..... 79d  
 共中心点 ..... 79d  
 共中心点道集 ..... 79d  
 共中心点多次叠加 ..... 79a  
 构造成带性 ..... 173c  
 构造窗 ..... 400f  
 构造等距性 ..... 172f  
 构造等性块段 ..... 467f  
 构造地震 ..... 250c  
 构造分区性 ..... 173c  
 构造格架 ..... 252f  
 构造共轭性 ..... 173c  
 构造煤 ..... 223d, 408c  
 构造体系 ..... 58e  
**构造型式** ..... 98e  
 构造序列 ..... 253a  
 构造样式 ..... 253a

构造指数法 ..... 466b  
 构造组合 ..... 253a  
 古生物对比法 ..... 218f  
 固定床发生炉半工业性  
 试验(煤)样 ..... 212b  
 光泵磁力仪 ..... 266c  
 光亮煤 ..... 327f  
 广东茂名(第三纪)煤田 ..... 142a  
 广西百色(第三纪)煤田 ..... 142a  
**硅藻土** ..... 101b  
 国际褐煤显微组分  
 分类 ..... 114f, 115a, 317e  
 国际泥炭分类 ..... 340c  
 国际显微煤岩类型  
 分类 ..... 423b, 424a  
 国际硬煤显微组分  
 分类 ..... 432d, 433, 317d  
 过渡相 ..... 304e

## H

海岸平原沉积 ..... 444e  
 海岸砂丘相 ..... 443f  
 海陆交替相煤系 ..... 128c  
 海南长坡(第三纪)煤田 ..... 142b  
 海相 ..... 304f  
 海相沉积型铝土矿 ..... 201c  
**含煤沉积体系** ..... 103a  
 含煤地层 ..... 104a  
 含煤丰度 ..... 103f  
 含煤建造 ..... 104a  
 含煤率 ..... 104a  
 含煤密度 ..... 104a  
 含煤系数 ..... 103f  
**含煤性** ..... 103e  
**含煤岩系** ..... 104a, 450d, 284e  
 含煤岩系古地理 ..... 136b, 104b  
 含石煤地层 ..... 450d  
**含水层** ..... 107f  
 含水段 ..... 108c  
 含水系数 ..... 90e  
 含盐煤 ..... 332f  
 航空电磁法 ..... 286a  
 航空遥感 ..... 427f  
 航片地质填图 ..... 157d

航天遥感 ..... 427f  
 巷探 ..... 175a  
 合金钻头 ..... 435a  
 合山组 ..... 410f  
 河口湾 ..... 108e  
**河口湾-潮滩沉积体系** ..... 108e  
**河流沉积体系** ..... 110c  
 河漫滩流水沼泽相 ..... 320c  
 核测井 ..... 81b  
 核子旋进式磁力仪 ..... 266b  
**褐煤显微组分** ..... 114e  
 黑龙江东部近海型  
 煤田 ..... 142e, 463a  
 黑煤 ..... 422f  
 恒温带 ..... 164f  
 恒温带确定 ..... 166d  
 横波 ..... 115c, 116a  
**横波法地震勘探** ..... 115c  
 横波法资料解释 ..... 116c  
 横波反射法 ..... 115f  
 横波勘探 ..... 115c  
 横切分辨率 ..... 93d  
 红绿商 Q ..... 319b  
 宏观煤岩类型 ..... 327f  
 后滨相 ..... 443f  
 后生冲刷 ..... 209f, 210a  
 后生丝质体 ..... 394a  
 厚层 ..... 301d  
 厚煤层 ..... 210b  
**湖泊沉积体系** ..... 117a  
 湖泊聚煤作用 ..... 118c  
 湖三角洲相 ..... 118b  
 琥珀煤 ..... 11a  
 龙状构造 ..... 470e  
 华北第三纪煤田 ..... 139f  
 华北聚煤区 ..... 137d  
 (华北石炭二叠纪)古地理 ..... 381d  
 (华北石炭二叠纪)古气候 ..... 381e  
 (华北石炭二叠纪)含煤  
 情况 ..... 382a  
 华北石炭二叠纪聚煤区 ..... 137d  
 华北石炭二叠纪  
 煤田 ..... 137e, 382a  
 华北早中侏罗世煤田 ..... 139c  
 华南第三纪煤田 ..... 141f

|              |             |
|--------------|-------------|
| (华南二叠纪)滨海-浅海 |             |
| 型煤系          | 140f        |
| (华南二叠纪)滨海型煤系 | 140c        |
| (华南二叠纪)陆缘型煤系 | 140f        |
| 华南二叠纪煤田      | 140b, 412d  |
| 华南聚煤区        | 139f        |
| (华南晚二叠世)古地理  | 412b        |
| (华南晚二叠世)古生物  |             |
| 特征           | 411d        |
| (华南晚二叠世)含煤情况 | 412d        |
| 华南晚三叠世煤田     | 141a        |
| (华南早石炭世)古地理  | 438f        |
| 华南早石炭世煤田     | 139f, 439b  |
| 华南早晚二叠世含煤地层  |             |
| 对比           | 410a        |
| 华夏古陆         | 412b        |
| 华夏植物群        | 380f        |
| 滑动系统         | 459c        |
| 滑片型(构造)      | 459c        |
| 滑板           | 250f        |
| 滑坡防治措施       | 251b        |
| 滑坡类型         | 251a        |
| 滑坡强度         | 251a        |
| 滑脱层          | 459b        |
| 滑脱面          | 459b        |
| 滑褶型(构造)      | 459d        |
| 化学成因(沉积)     |             |
| 构造           | 303e, 301c  |
| 化学浆液堵漏       | 476d        |
| 化学煤样         | 210e        |
| 化学泥浆         | 337a        |
| <b>淮南煤田</b>  | <b>119a</b> |
| 淮阳古陆         | 412b        |
| (环境地质)精查     | 191c        |
| (环境地质)普查     | 190e        |
| 环境地质实际资料图    | 191f        |
| 环境地质图        | 191f        |
| (环境地质)详查     | 191a        |
| 环境质量图        | 191f        |
| 环太平洋(第三纪)聚煤带 | 135f        |
| 缓发型突水        | 185f        |
| 缓倾斜煤层        | 210c        |
| 缓斜煤层         | 210c        |
| 黄铁矿          | 197d        |
| 灰色系统         | 384d        |

|             |             |
|-------------|-------------|
| 挥发分参数       | 244f        |
| 挥发分梯度       | 422b        |
| 回采地质说明书     | 55d         |
| 回采地质预报      | 55e         |
| 回次          | 293c        |
| 回次煤心采取率     | 325ab       |
| 回次岩心采取率     | 427a        |
| 回转式钻机       | 481c        |
| <b>回转钻进</b> | <b>120d</b> |
| 回转钻进参数      | 472a        |
| 混合(煤岩)煤样    | 212a        |
| 混合式(排水)     | 176f        |
| 混合微粒组       | 432e        |
| 混油泥浆        | 336f        |
| 火焚丝质体       | 74c, 393f   |
| 火山地震        | 250c        |
| 火山碎屑岩       | 315b        |
| 霍林河组        | 460e        |
| 霍斯舒坎宁组      | 5a          |

## J

|              |                        |
|--------------|------------------------|
| 机械动力头式钻机     | 68f, 69a               |
| 机械拧管机        | 348a                   |
| 机载地质雷达       | 54c                    |
| 鸡窝状(煤层)      | 208e, 209a             |
| <b>鸡西煤田</b>  | <b>122d</b>            |
| 鸡西群          | 460f                   |
| 基本观测点        | 280b                   |
| 基本勘探工程       | 151c                   |
| 基本勘探线        | 150d                   |
| 基底构造         | 274c                   |
| 基质镜质体        |                        |
|              | 132a, 433b, 434a, 348e |
| 箕状断陷煤盆地      | 69e                    |
| 激电场          | 121e                   |
| 激发极化参数       | 121e                   |
| 激发极化测井       | 62c                    |
| 激发极化测深法      | 122b                   |
| 激发极化充电法      | 122c                   |
| 激发极化电流场      | 121e                   |
| <b>激发极化法</b> | <b>121a</b>            |
| 激发极化剖面法      | 122b                   |
| 激发极化效应       | 121a                   |
| 极薄层          | 301e                   |

|              |                  |
|--------------|------------------|
| 极不稳定煤层       | 154a             |
| 极复杂(地质)构造    | 153e             |
| 极化补偿电路       | 449d             |
| 极化率          | 121f             |
| 急倾斜煤层        | 210c             |
| 集气式瓦斯采取器     | 404c             |
| 急斜煤层         | 210c             |
| 脊肋图          | 83d              |
| 加密观测点        | 280b             |
| 加密勘探工程       | 151c             |
| 加密勘探线        | 150f             |
| 加速度检波器       | 124f             |
| 夹石层          | 208c             |
| 夹矸           | 208c             |
| <b>贾里亚煤田</b> | <b>123f</b>      |
| 钾铀钍(KUT)测井   | 82d              |
| 假镜质组         | 8e               |
| 假频干扰         | 385e             |
| 假煤质体         | 90b              |
| 拣块法(采样)      | 211d             |
| <b>检波器</b>   | <b>124d, 35c</b> |
| 简单(地质)构造     | 153d             |
| 简单结构煤层       | 208e             |
| 简选煤样         | 212c             |
| 简易可选性煤样      | 212c             |
| 简易水文地质观测     | 391f             |
| 剪切断层         | 402f             |
| 间接充水含水层      | 108c             |
| 间接定向         | 68e              |
| 建井地质         | 163d             |
| 建井地质勘探       | 163d             |
| 降低水位井        | 180a             |
| 交错斜层理        | 302e             |
| 交流电法         | 285e             |
| <b>交流电法仪</b> | <b>125a</b>      |
| 交流激发极化法      | 122b             |
| 胶泥           | 88d              |
| 胶泥煤          | 88f, 88d         |
| 胶凝堵漏         | 476e             |
| 胶质镜质体        | 132b, 433b, 434a |
| 焦岩混合带        | 247a             |
| 角质残植煤        | 10b              |
| 角质体          | 355c, 434b       |
| 较稳定煤层        | 153f             |
| 校准系数         | 83a              |



阶梯形唇面 ..... 127f  
 阶梯状断层 ..... 171f  
 接地电阻测井 ..... 61c  
 接地电阻差值测井 ..... 61e  
 接地电阻梯度测井 ..... 61e  
 节理 ..... 170f  
 结构腐植体 ..... 89e  
 结构镜煤体 ..... 348e  
 结构镜质体  
     ..... 131e, 433a, 434a, 348c  
 结构木质体 ..... 89e  
 结构藻类体 ..... 355e, 432f, 434c  
 结核 ..... 303e, 242e, 208d  
 结核对比法 ..... 220c  
 结晶脉状石墨 ..... 377a  
 解吸仪 ..... 230d  
 介质酸碱度 ..... 306d  
 介质氧化还原性 ..... 306a  
 金刚石胎块钻头 ..... 127e  
**金刚石钻进** ..... **125f**  
**金刚石钻头** ..... **127a, 484c**  
 金刚石钻头唇面  
     形状 ..... 127f, 128a  
 进潮口潮道相 ..... 444c  
 近海泥炭沼泽 ..... 347c  
**近海型含煤岩系** ..... **128c**  
 近海型煤田 ..... 262d  
 近水平煤层 ..... 210c  
 晋祠砂岩 ..... 378c  
 经向构造体系 ..... 99a  
**精查** ..... **128e**  
 精查储量 ..... 26f  
 精查地质报告 ..... 277f  
 精查阶段矿井高级储量  
     比例 ..... 129d  
 精查阶段水文地质勘探  
     工作 ..... 388a  
 井巷地质素描图 ..... 168d  
 井巷式(排水) ..... 177a  
 井径测量 ..... 160f  
 井内技术测井 ..... 160e  
 井筒检查钻孔 ..... 163e  
 井筒瞬时涌水量 ..... 131a  
**井筒涌水量** ..... **130f**  
 井筒总涌水量 ..... 131a

井温测井 ..... 415f  
 井温测井曲线 ..... 416ab  
 井下放水孔 ..... 86ab  
 井斜测量 ..... 161a  
 井液电阻率测井 ..... 390b  
 井液电阻率测井 ..... 62b  
 景谷植物群 ..... 58b  
 静校正 ..... 40b  
 静止轨道遥感 ..... 427f  
 镜煤 ..... 327d  
 镜质树脂体 ..... 432f  
**镜质组** ... **131c, 433a, 434a, 348b**  
**镜质组反射率** ..... **132d**  
 镜质组反射率参数 ..... 244f  
 (镜质组)反射率各向  
     异性 ..... 133f  
 (镜质组)各向异性比 ..... 134a  
 (镜质组)绝对各向异性 ..... 134a  
 (镜质组)空气中反射率 ..... 132e  
 (镜质组)平均随机反  
     射率 ..... 134b  
 (镜质组)双反射率 ..... 134a  
 (镜质组)随机反射率 ..... 134a  
 (镜质组)相对各向异性 ..... 134a  
 (镜质组)油浸中反射率 ..... 132e  
 (镜质组)最大反射率 ..... 133f  
 (镜质组)最小反射率 ..... 133f  
 九佛堂组 ..... 460e  
 巨厚层 ..... 301d  
 矩形(勘探)网 ..... 150b  
 锯齿形唇面 ..... 127f  
 聚类分析 ..... 383b  
**聚煤带** ..... **135b**  
**聚煤古地理** ..... **136b**  
 聚煤古地理类型 ..... 136c  
 (聚煤)古地理条件 ... 146d, 104b  
 (聚煤)古构造条件 ... 147a, 104b  
 (聚煤)古气候条件 ... 146a, 104b  
 (聚煤)古植物条件 ..... 146a  
 聚煤环境 ..... 136b  
 聚煤模式 ..... 231c  
 聚煤盆地 ..... 252a, 262b  
**聚煤期** ..... **137a**  
**聚煤区** ..... **137d**  
 聚煤史分析 ..... 253c

聚煤特征分析 ..... 253c  
**聚煤条件** ..... **146a**  
 聚煤中心 ..... 136a  
 决口扇 ..... 111a  
 掘进地质说明书 ..... 55c  
 掘进地质预报 ..... 55d  
 均衡场试验 ..... 389a  
 均质含水层 ..... 108c  
 均质滑坡 ..... 251a  
 均质镜质体  
     ..... 131f, 433a, 434a, 348e  
 菌类体 ..... 74e, 434b

## K

喀斯特充水矿床 ..... 248b  
 喀斯特含水层 ..... 108b  
 喀斯特类(供水水文地质  
     类型) ..... 189c  
 喀斯特塌陷处理 ..... 39d  
**喀斯特陷落柱** ..... **148a**  
 卡拉库姆盆地(煤气田) ..... 233e  
 卡鲁煤系 ..... 334f  
 卡钻 ..... 161d  
 开采地质条件有利程度  
     分级 ..... 466f, 468a  
**开滦煤田** ..... **148f**  
 勘探程度 ..... 276b, 129c, 130b  
 勘探程序 ..... 275e, 151d  
 勘探方法 ..... 276a  
**勘探工程布置** ..... **150b**  
 勘探技术手段 ..... 157b  
**勘探阶段** ..... **151d**  
**勘探类型** ..... **153c**  
 勘探区 ..... 425d  
 勘探区地形地质图 ..... 279a  
 勘探区选择 ..... 425d  
 勘探任务 ..... 275d  
**勘探设计** ..... **156b**  
 勘探深度 ..... 276b, 129c  
**勘探手段** ..... **157b, 275f**  
 勘探手段综合运用 ..... 468f  
 勘探网 ..... 151a  
 勘探线 ..... 150c  
 勘探线地质剖面图 ..... 280f

勘探线距 ..... 150f  
**坎斯克-阿钦斯克煤田** ..... **158e**  
 康滇古陆 ..... 412b  
 科利丘京群 ..... 162d  
 蝌蚪图 ..... 359c  
 可采含煤系数 ..... 104a  
 可控震源 ..... 449a  
 可磨性测定(煤)样 ..... 212b  
 可选性试验煤样 ..... 210f, 212c  
 克立格(储量计算)法 ..... 32b  
 刻槽法(采样) ..... 211c  
 刻度系数 ..... 83a  
 坑道无线电波透视法 ..... 419b  
 坑道中采样 ..... 211c  
**坑道钻探** ..... **159d, 174f**  
 坑底集中式(排水) ..... 176f  
 坑探工程 ..... 157e  
 坑探工程地质编录 ..... 49f  
 空盒气压计 ..... 230d  
 空间曲线型定向孔 ..... 68b  
 空中地质雷达 ..... 54c  
 孔壁 ..... 474d  
 孔底动力机 ..... 120e  
 孔底局部反循环冲洗 ..... 475b  
 孔间无线电波透视法 ..... 390e  
 孔径测量 ..... 160f  
 孔口 ..... 474c  
**孔内技术测井** ..... **160e**  
**孔内事故** ..... **161c**  
 孔身 ..... 474d  
 孔身结构 ..... 474e  
 孔身结构剖面 ..... 474e  
 孔隙充水矿床 ..... 247e, 248a  
 孔隙含水层 ..... 108a  
 孔隙类(供水水文地质  
   类型) ..... 188f  
 孔斜 ..... 475f  
 孔斜测量 ..... 161a  
 孔组抽水试验 ..... 25d  
 控煤构造 ..... 274a  
 库兹巴斯 ..... 162b  
**库兹涅茨克煤田** ..... **162b**  
 块状层 ..... 301d  
 块状层理 ..... 302b  
 块状(煤岩)煤样 ..... 212a

快中子非弹性散射 $\gamma$ 能谱  
   测井 ..... 84e  
 矿产资源综合评价 ..... 469b  
 矿车采样法 ..... 211e  
 矿床统计预测 ..... 384f  
 矿化丝炭 ..... 327e  
**矿建地质** ..... **163d, 167c**  
 矿井必备的地质图件 ..... 169d  
 矿井补充勘探 ..... 174d  
 矿井补充水文地质勘探 ..... 287e  
 矿井储量管理 ..... 167d  
**矿井地热** ..... **164b**  
**矿井地质** ..... **167b**  
**矿井地质报告** ..... **168b**  
**矿井地质编录** ..... **168c, 167d**  
**矿井地质构造** ..... **170c**  
 (矿井地质构造)分级 ..... 170d  
 (矿井地质构造)类型 ..... 170f  
**矿井地质规程** ..... **173f**  
**矿井地质勘探** ..... **174b, 167d**  
 矿井地质雷达 ..... 54d  
 矿井电法 ..... 187c  
 矿井放射性勘探 ..... 187e  
 矿井高频地震勘探 ..... 187e  
 矿井构造预测 ..... 173e  
 矿井红外遥感 ..... 187e  
 矿井井下水放试验 ..... 85f, 86a  
**矿井(坑)充水条件** ..... **175b**  
**矿井(坑)排水** ..... **176b**  
 (矿井(坑))排水系统 ..... 176c  
**矿井(坑)涌水量** ..... **177a**  
 (矿井(坑))涌水量预测  
   方法 ..... 177e  
 (矿井(坑))正常涌水量 ..... 177c  
 (矿井(坑))最大涌水量 ..... 177c  
 矿井排水方式 ..... 176e  
 矿井生产用地质图件 ..... 170b  
**矿井疏干** ..... **179a**  
**矿井水文地质** ..... **183d, 288a**  
 矿井水文地质编录 ..... 184a  
 矿井水文地质工作 ..... 288a, 183d  
**矿井水文地质规程** ..... **184e**  
**矿井水文地质类型** ..... **185a**  
 矿井突水 ..... 185d  
**矿井突水预测** ..... **185c**

矿井无绳测井 ..... 187d  
**矿井物探** ..... **187a, 175a**  
 (矿)井下水文地质观测 ..... 184a  
 矿井资源勘探 ..... 174c  
 矿区必备的地质图件 ..... 169d  
 矿区地面水文地质调查 ..... 183f  
 矿区地温场影响因素 ..... 165c  
 矿区供水水文地质  
   勘探 ..... 287f, 188a  
 矿区供水水文地质类型 ..... 188e  
**矿区供水水源勘探** ..... **188a, 287f**  
**矿区环境地质** ..... **189d**  
**矿区环境地质勘查** ..... **190d**  
 矿区环境水文地质 ..... 288c  
 矿区环境质量评价 ..... 190a  
**矿区水资源评价** ..... **192a**  
 框-回线法 ..... 393c

## L

拉分盆地 ..... 470f  
 拉伸断陷煤盆地 ..... 371d  
**莱茵煤田** ..... **195a**  
 老窑水 ..... 175e  
 勒夫型槽波 ..... 11f  
 乐平煤 ..... 10e  
 乐平煤系 ..... 408f  
 累计进尺测量 ..... 473e  
 肋线 ..... 83e  
 类脂组 ..... 416d  
 类脂组荧光性参数 ..... 246b  
 离散采样 ..... 385e  
 离子导体类岩石 ..... 65e  
 理想电位电极系 ..... 60f  
 立方氮化硼 ..... 20a  
 立井地质素描图 ..... 168d  
 立井检查钻孔 ..... 163e  
**立轴式钻机** ..... **196b**  
 沥青化作用 ..... 243f, 244b  
 沥青质 ..... 244b  
 沥青质 ..... 346d, 345f  
 沥青质体 ..... 356a, 432f  
 砾状焦 ..... 398d  
 粒序层理 ..... 302c  
 粒状焦 ..... 398e

连续测量(流量测井)..... 390d  
 连续偏斜器 ..... 68c  
 连续造斜器 ..... 68c  
 联合国矿产资源分类 ..... 260c  
 联合疏干方式 ..... 182d  
 联通试验 ..... 388f  
 炼焦半工业试验(煤)样 ..... 212a  
 炼焦用煤煤质评价指标 ..... 328f  
 梁山组 ..... 450f  
 亮煤 ..... 327d  
 量化 ..... 385e  
 裂谷 ..... 371b  
 裂谷盆地 ..... 255a  
 裂谷系 ..... 255b  
 裂隙充水矿床 ..... 247e, 248b  
 裂隙含水层 ..... 108a  
 裂隙类(供水水文地质  
 类型) ..... 189b  
 临滨-海岸沉积 ..... 443c  
 临滨相 ..... 443c  
 临界突水系数 ..... 186bc  
 鳞木和种子蕨森林沼泽 ..... 320e  
 鳞片状石墨 ..... 376f  
 菱形(勘探)网 ..... 151b  
 零孔源距观测系统 ..... 34d  
 零相位子波 ..... 95d  
 留设防水煤柱 ..... 184c  
 流动成因(沉积)构造 ..... 301d  
 流量测井 ..... 390c  
 流量测井仪 ..... 390c  
**硫铁矿** ..... **197d**  
 硫铁矿资源 ..... 197f, 198a  
**六盘水煤田** ..... **198b**  
 龙潭煤系 ..... 408f  
 龙潭组 ..... 409f  
 漏斗形(测井)曲线 ..... 308a, 307f  
 芦苇沼泽 ..... 320e  
 芦苇沼泽(相) ..... 320d  
**鲁尔煤田** ..... **199c**  
 陆地沼泽化 ..... 346f  
 陆内裂谷煤盆地 ..... 255a  
 陆相 ..... 304e  
 陆相沉积型铝土矿 ..... 201c  
 陆相煤系 ..... 335f  
 陆缘裂谷煤盆地 ..... 255a

露天矿地表水防治 ..... 38f, 39b  
 露天矿排水方式 ..... 176f  
**铝土矿** ..... **200e**  
 (铝土矿)资源 ..... 201f, 310f  
 滤波 ..... 40ef  
 重力震源 ..... 448f

## M

马土坡组 ..... 450f  
 马鞍山组 ..... 450f  
 马尔柯夫分析 ..... 383e  
 马尔柯夫过程 ..... 383f  
 马尔柯夫链 ..... 383f  
 马尔柯夫性质 ..... 383e  
 马尾状(煤层) ..... 208e, 209a  
 埋钻 ..... 161d  
 脉状层理 ..... 302d  
 脉状火成岩岩体 ..... 311e  
 曼维尔群 ..... 4f  
**煤** ..... **203a**  
 煤变质程度 ..... 206d  
 煤变质(程度)参数 ..... 244f  
 煤变质程度与煤类 ..... 206c  
 煤变质垂直分带 ..... 258c  
 煤变质带 ..... 258c, 256b, 453f, 455b  
 (煤变质)时间因素 ..... 205b  
 煤变质水平分带 ..... 258d  
 煤变质梯度 ..... 422n, 256e  
 (煤变质)温度因素 ..... 203c  
 (煤变质)压力因素 ..... 206b  
 煤变质因素 ..... 203b  
**煤变质作用** ..... **203a, 243c**  
 煤变质作用类型 ..... 207b  
**煤层** ..... **208b**  
 煤层灰 ..... 11d  
**煤层采样** ..... **210d**  
**煤层沉积环境** ..... **213b**  
 煤层冲刷 ..... 209f, 210a, 222b  
 (煤层)储气因素 ..... 406e  
 煤层的透气性 ..... 226f  
 煤层等性块段 ..... 467c  
 (煤层)底板 ..... 208b  
**煤层底板等高线图** ..... **216a**  
 (煤层)顶板 ..... 208b

(煤层顶底板)力学性质  
 试样 ..... 213a  
 (煤层顶底板)物理性质  
 试样 ..... 213a  
**煤层对比** ..... **217e**  
 煤层分岔 ..... 209d, 220f  
 (煤层)风化带 ..... 242b  
 煤层构造图 ..... 216a  
 煤层厚度 ..... 209c  
**煤层厚度变化** ..... **220c**  
 煤层厚度对比法 ..... 218c  
 煤层厚度稳定性评价 ..... 465e  
 煤层甲烷 ..... 223e  
 (煤层)甲烷带 ..... 229e  
 煤层尖灭 ..... 209d, 220f  
 煤层结构 ..... 208e  
 煤层结构对比法 ..... 218c  
 煤层煤样 ..... 211e  
**煤层气** ..... **223e**  
 煤层取样 ..... 210d  
 煤层致分层 ..... 408c  
 煤层渗透率 ..... 227a  
 煤层特性对比法 ..... 218c  
 煤层特征对比法 ..... 218c  
 煤层体积模型 ..... 41b  
 煤层瓦斯 ..... 223e  
 (煤层)瓦斯风化带 ..... 229c  
**煤层瓦斯含量采样** ..... **230b**  
 煤层瓦斯含量调查 ..... 407d  
 煤层瓦斯含量解吸测定法 ..... 404c  
 煤层稳定性 ..... 208f  
 煤层型别 ..... 153f  
 煤层形态 ..... 208e  
 (煤层)氧化带 ..... 242c  
 煤层有益厚度 ..... 209c  
 煤层钻 ..... 160b  
 煤产地 ..... 262b  
 煤产气率 ..... 234f  
**煤沉积模式** ..... **231c**  
**煤成气** ..... **233a**  
 (煤成气)认识 ..... 235a  
**煤成烃** ..... **237e**  
 煤成岩作用 ..... 243c  
**煤成因类型** ..... **238a**  
**煤成油** ..... **238c**

|                 |                  |                   |                  |                  |            |
|-----------------|------------------|-------------------|------------------|------------------|------------|
| 煤的储气方式 .....    | 224e             | 煤矿井(坑)充水 .....    | 175b             | 煤田地质学 .....      | 282e       |
| 煤的分类 .....      | 239c             | 煤矿区地质灾害 .....     | 250b             | 煤田电法勘探 .....     | 285c, 269c |
| 煤的化学工艺性质 .....  | 239d             | (煤矿区)水文地质边界       |                  | (煤田)分类 .....     | 262c       |
| (煤的)容重 .....    | 28f              | 条件 .....          | 175f             | (煤田)构成 .....     | 262b       |
| 煤的视密度 .....     | 28f              | 煤矿水害治理 .....      | 251e             | 煤田勘探 .....       | 275c       |
| (煤的)体重 .....    | 28f              | 煤流采样法 .....       | 211e             | 煤田伸展构造 .....     | 371e       |
| 煤的物理性质 .....    | 239d             | 煤内孔隙分布 .....      | 225c             | 煤田水文地质 .....     | 287d       |
| 煤的吸附性能 .....    | 229a             | 煤盆地 .....         | 251e, 284f       | 煤田水文地质勘探 .....   | 287e       |
| 煤地热变质作用 .....   | 258b             | 煤盆地分析 .....       | 252b             | 煤田水文地质勘探方法 ..... | 388c       |
| 煤地质学 .....      | 282e             | 煤盆地构造成因分类 .....   | 254b             | 煤田推覆构造 .....     | 402f       |
| 煤电镜研究 .....     | 239d             | 煤盆地类型 .....       | 253f             | 煤田物探 .....       | 268e, 158a |
| 煤动力变质作用 .....   | 240e, 207c       | 煤浅成区域岩浆热变质        |                  | 煤田预测 .....       | 288d       |
| 煤动力热变质作用 .....  | 241b             | 作用 .....          | 255f             | 煤田重力滑动构造 .....   | 459e       |
| 煤歪 .....        | 242a             | 煤区域变质作用 .....     | 258b             | 煤田重力勘探 .....     | 290f, 269b |
| 煤风化作用 .....     | 241c             | 煤区域热力变质作用 .....   | 255e             | 煤田走滑断层 .....     | 471a       |
| 煤核 .....        | 242e, 208e, 303e | 煤区域岩浆热变质          |                  | 煤田钻探 .....       | 292d       |
| (煤厚)后生变化 .....  | 220d             | 作用 .....          | 255e, 453c, 207c | 煤物理风化作用 .....    | 241e       |
| (煤厚)原生变化 .....  | 220d             | 煤深成变质             |                  | 煤系 .....         | 104a       |
| 煤华 .....        | 242a             | 作用 .....          | 258b, 452d, 207b | 煤系层序地层分析 .....   | 294b       |
| 煤化程度 .....      | 243d, 244d       | 煤炭储量 .....        | 259d             | 煤系常见岩石电阻率 .....  | 66a        |
| 煤化(程度)参数 .....  | 244f             | 煤炭资源 .....        | 261b             | 煤系沉积构造 .....     | 301a       |
| 煤化梯度 .....      | 422a             | 煤炭资源地质勘探 .....    | 275c             | (煤系)沉积模式 .....   | 105d       |
| 煤化学 .....       | 284c             | 煤炭资源量 .....       | 27d, 259e        | 煤系沉积相 .....      | 304c       |
| 煤化学风化作用 .....   | 241e             | 煤炭资源评价 .....      | 261b             | 煤系地球化学相 .....    | 305b       |
| 煤化作用 .....      | 243c, 203b       | (煤炭资源)评价参数 .....  | 261d             | 煤系地球物理测井相 .....  | 306f       |
| 煤化作用机理 .....    | 243f             | 煤田 .....          | 262a             | 煤系地震地层相 .....    | 308c       |
| 煤化作用平衡 .....    | 243d             | 煤田测井 .....        | 267d, 269d       | 煤系共伴生矿产          |            |
| 煤化作用因素 .....    | 243d             | 煤田测井对比法 .....     | 220b             | 资源 .....         | 310a, 258a |
| 煤化作用跃变 .....    | 244b             | 煤田测井解释系统 .....    | 17f              | 煤系内火成岩 .....     | 311c       |
| 煤级 .....        | 244e             | 煤田测井数据处理 .....    | 40f              | 煤系生物相 .....      | 313c       |
| 煤级参数 .....      | 244f             | 煤田测井仪 .....       | 263b             | (煤系)旋回结构 .....   | 105a       |
| 煤级反向环带 .....    | 256d             | 煤田常用测井法地质应用 ..... | 267b             | 煤系岩石相 .....      | 314f       |
| 煤级梯度 .....      | 422a             | 煤田磁法勘探 .....      | 265d, 269b       | 煤显微硬度 .....      | 317a       |
| 煤级与矿物分带 .....   | 204f, 205a       | (煤田)地面物探 .....    | 175a             | 煤显微组分 .....      | 317c       |
| 煤级正向环带 .....    | 256d             | 煤田地球物理测井 .....    | 267d             | 煤显微组分荧光分析 .....  | 318d       |
| 煤焦混合带 .....     | 247b             | 煤田地球物理勘探 .....    | 268e, 158a       | 煤相 .....         | 320b       |
| 煤接触变质作用 .....   | 246d, 207c       | 煤田地震勘探 .....      | 270d, 269c       | (煤相)分析参数 .....   | 324c       |
| 煤阶 .....        | 244e             | 煤田地震勘探数据处理 .....  | 40a              | 煤巷地质素描图 .....    | 169a       |
| 煤结构破坏类型 .....   | 406a             | 煤田地质构造 .....      | 273f             | 煤心采取率 .....      | 325a       |
| 煤精 .....        | 89b              | 煤田地质勘探 .....      | 275c             | 煤心采取器 .....      | 325d       |
| 煤孔隙分类 .....     | 225a             | 煤田地质勘探报告 .....    | 277a             | 煤心煤样 .....       | 211f       |
| 煤矿补充勘探 .....    | 174d             | 煤田地质勘探基本图纸 .....  | 278f             | 煤岩层对比图 .....     | 280c, 281e |
| 煤矿床水文地质类型 ..... | 247c             | 煤田地质勘探设计编制        |                  | 煤岩成分 .....       | 327d       |
| 煤矿地质勘探 .....    | 174b             | 提纲 .....          | 156c             | 煤(岩)技术样 .....    | 211b       |
| 煤矿工程地质 .....    | 249c             | 煤田地质图 .....       | 456c             | 煤岩煤样 .....       | 212a       |

煤岩特征对比法 ..... 218d  
**煤岩学** ..... 326c, 284a  
(煤岩)应用 ..... 326d  
**煤岩组成** ..... 327c  
煤岩组分 ..... 327d  
煤岩-孢粉样 ..... 211a  
煤与瓦斯突出 ..... 407b  
煤与瓦斯突出机理 ..... 407c  
煤玉 ..... 89b  
煤远程岩浆热变质作用 ..... 255e  
煤正常变质作用 ..... 258b  
**煤质评价** ..... 328b  
煤质资料对比法 ..... 218d  
(煤中)白铁矿 ..... 332c  
**煤中伴生元素** ..... 329a  
(煤中)钒 ..... 329f  
(煤中)方解石 ..... 332d  
(煤中)氟 ..... 330f  
(煤中)镉 ..... 330f  
(煤中)铬 ..... 330f  
煤中贵金属元素 ..... 331a  
(煤中)后生矿物 ..... 331d  
(煤中)化学及生物化学  
成因矿物质 ..... 331d  
(煤中)黄铁矿 ..... 332b  
(煤中)镓 ..... 329d  
(煤中)金 ..... 331a  
(煤中)金红石 ..... 332a  
**煤中矿物质** ..... 331c, 340a  
(煤中)磷 ..... 330d  
(煤中)菱铁矿 ..... 332e  
(煤中)硫 ..... 330b  
(煤中)硫化物硫 ..... 330c  
(煤中)硫酸盐硫 ..... 330c  
(煤中)氯 ..... 330f  
(煤中)粘土矿物 ..... 331e  
(煤中)铍 ..... 330f  
(煤中)铅 ..... 330f  
煤中浅成区域岩浆热变质  
作用 ..... 256a  
(煤中)砷 ..... 330e  
煤中深成区域岩浆热变质  
作用 ..... 256a  
(煤中)石英 ..... 332a  
(煤中)碎屑成因矿物质 ..... 331c

(煤中)同生矿物 ..... 331d  
(煤中)无机硫 ..... 330b  
煤中稀土元素 ..... 331a  
(煤中)铀 ..... 329e  
煤中有害元素 ..... 330a  
(煤中)有机硫 ..... 330b  
煤中有益元素 ..... 329b  
(煤中)锗 ..... 329c  
(煤中)植物成因矿物质 ..... 331c  
煤砖(成型)试验(煤)样 ..... 212c  
美国矿产储量分类 ..... 260a  
美国矿产勘查阶段 ..... 153b  
美国煤田勘探工程  
间距 ..... 154f  
美国硬煤显微组分  
分类 ..... 432e, 317f  
门限温度 ..... 239b  
蒙脱石 ..... 349b  
密度测井 ..... 82e  
密度探管 ..... 264b  
密封罐 ..... 230d  
密西西比系 ..... 3b  
密屑体 ..... 90a  
面板 ..... 263b, 264f  
面波 ..... 79a  
明特罗普波 ..... 448b  
模糊数学 ..... 384f  
模糊数学综合评价 ..... 468b  
模拟测井仪 ..... 263cd  
模拟法 ..... 179a  
模数转换器 ..... 385e  
磨锐式钻头 ..... 435c  
木镜组 ..... 432e  
木煤体 ..... 348d  
木栓质体 ..... 356c, 434b  
木质结构腐木质体 ..... 89f  
木质镜煤丝炭体 ..... 395d  
木质镜煤体 ..... 348d  
木质素 ..... 20d  
穆棱组 ..... 122e

## N

钠基膨润土 ..... 349c  
**耐火粘土** ..... 333a

(耐火粘土)储量 ..... 334b  
(耐火粘土)矿床成因  
类型 ..... 333e  
耐火粘土矿石类型 ..... 334a  
南方(第三纪含煤地层) ..... 56c  
南方区(早中侏罗世含煤  
地层) ..... 440c  
南非矿产勘查阶段 ..... 153b  
**南非煤田** ..... 334f  
内陆泥炭沼泽 ..... 347c  
**内陆型含煤岩系** ..... 335f  
内陆型煤田 ..... 262d  
能利用储量 ..... 27e, 259e  
能谱分析法 ..... 239f  
能谱仪 ..... 239f  
**泥浆** ..... 336a  
泥浆泵 ..... 480b  
泥浆(冲洗介质) ..... 475c  
**泥浆处理剂** ..... 337a  
(泥浆)净化 ..... 336c  
(泥浆)配制 ..... 336c  
泥浆雾冲洗介质 ..... 475d  
泥浆循环沉淀系统 ..... 336d  
泥煤 ..... 337e  
泥石流 ..... 251c  
泥石流防治措施 ..... 251d  
泥石流流域 ..... 251c  
**泥炭** ..... 337e, 345a  
泥炭持水量 ..... 338b  
**泥炭化作用** ..... 345a  
泥炭积累速度 ..... 347d  
泥炭结构类型 ..... 338a  
(泥炭)生理活性 ..... 338f  
(泥炭)生物活性 ..... 338f  
泥炭湿度 ..... 338b  
泥炭有机质元素组成 ..... 339c  
**泥炭沼泽** ..... 346e  
泥炭沼泽类型 ..... 322c, 347c  
泥质岩 ..... 315a  
泥质岩石体积模型 ..... 41b  
拟丹尼蕨-贝尔璠蕨  
植物群 ..... 415c  
拟金粉蕨-鲁福特蕨  
植物群 ..... 461c  
逆断层 ..... 171f

粘稠泡沫冲洗介质 ..... 475d  
 粘土岩 ..... 315a  
 鸟足状三角洲 ..... 363a  
 凝胶化基质体 ..... 348e  
 凝胶化物质 ..... 348d  
**凝胶化作用** ..... 348b, 21d, 345f  
 凝胶泡沫冲洗介质 ..... 475d  
 凝胶体 ..... 90b  
 凝析油 ..... 238f  
**拧管机** ..... 347f  
 扭动构造体系 ..... 99a  
 扭矩测量 ..... 473d

## O

欧洲(第三纪)聚煤带 ..... 136a  
 藕节状(煤层) ..... 208e, 209a

## P

排水沟 ..... 176c  
 排水管路 ..... 176d  
 排泄(水)量 ..... 192e  
 牌楼组 ..... 450f  
 盘区地质说明书 ..... 55c  
 判别分析 ..... 383c  
 跑钻 ..... 161c  
 泡沫冲洗介质 ..... 475d  
 喷射反循环 ..... 80d  
 喷射造斜钻头 ..... 68d  
 喷射真空针状过滤设施 ..... 179e  
 盆地充填序列 ..... 252d  
 (盆地)地热史分析 ..... 253b  
 (盆地)构造分析 ..... 252f  
 盆地演化背景分析 ..... 253e  
 硼含量 ..... 305b  
 硼铍比值(B/Ga) ..... 305c  
**膨润土** ..... 349a  
 (膨润土)资源 ..... 350a  
 膨土岩 ..... 349a  
 膨胀土 ..... 349a  
 偏斜楔 ..... 68c  
 偏心楔 ..... 68c  
 偏移 ..... 40d  
 偏移距 ..... 79a

贫营养泥炭 ..... 340e  
 贫营养型植物 ..... 345b  
**频率测深法** ..... 350c  
 (频率测深法)资料解释 ..... 351c  
 频率电磁测深法 ..... 350d  
 频率电磁测深仪 ..... 350f  
 频散 ..... 12a  
 平底形唇面 ..... 127f  
 平硐检查钻孔 ..... 163f  
 平衡表内储量 ..... 259e  
 平衡表外储量 ..... 260a  
 平面曲线型定向孔 ..... 68b  
 平卧褶皱 ..... 170f  
 平行层理 ..... 302d  
 平行疏干 ..... 179c  
 平行褶皱 ..... 170f  
 平移断层 ..... 171f  
 剖面(储量计算)法 ..... 30a  
**普查** ..... 351f  
 普查程度 ..... 352f  
 普查储量 ..... 26f  
 普查地质报告 ..... 277c  
 普查阶段水文地质工作 ..... 387f  
 普查总景线 ..... 352a  
 普终程度 ..... 353a  
 普终地质报告 ..... 278e

## Q

七侧向测井 ..... 61f  
 气爆震源 ..... 449a  
 气化用煤煤质评价指标 ..... 328f  
 气化指标测定(煤)样 ..... 212b  
 气举反循环 ..... 80e  
 气(汽)枪震源 ..... 449a  
 气液混合物(冲洗介质) ..... 475d  
 前滨相 ..... 443f  
 前陆煤盆地 ..... 254f  
 前三角洲相 ..... 364b  
 前置放大器 ..... 386c  
 黔漠区(早石炭世含煤  
 地层) ..... 437c  
 黔阳组 ..... 450f  
 浅侧向测井 ..... 61f  
 浅孔 ..... 474d

潜孔锤 ..... 354c  
**潜孔锤钻进** ..... 354a  
 潜水含水层 ..... 108c  
 壳屑体 ..... 356b  
**壳质组** ..... 354f, 433b, 434c  
 (壳质组)显微组分 ..... 355b  
 壳质组荧光性参数 ..... 246b  
 切层滑坡 ..... 251a  
 侵蚀煤盆地 ..... 254d  
**沁水煤田** ..... 356d  
 青海北部-甘肃中部早中  
 侏罗世煤田 ..... 142d  
 轻型针状过滤设施 ..... 179d  
**倾角测井** ..... 359a  
 倾向断层 ..... 171c  
 倾向节理 ..... 171c  
 倾斜煤层 ..... 210c  
 倾斜探巷地质编录 ..... 51c  
 清水(冲洗介质) ..... 475b  
 趋势面分析 ..... 382f  
 曲流河 ..... 110d  
 曲流河沉积 ..... 110d  
 曲流河模式的垂向层序 ..... 111c  
 取煤器 ..... 325d  
 取心复合片钻头 ..... 127e  
 取心钻头 ..... 484c  
 全层煤样 ..... 211f  
 全孔钻探工程质量标准 ..... 478a  
 全面钻进 ..... 9d  
 全巷法(采样) ..... 211d  
 全液压动力头式钻机 ..... 68f, 69a  
 泉 ..... 387a  
 确定储量 ..... 260b  
 确定性数学模拟 ..... 382d  
 群孔抽水试验 ..... 25d  
 群速度 ..... 12a

## R

燃烧试验(煤)样 ..... 212c  
 扰动构造 ..... 304a  
 热测井 ..... 415f  
 热河动物群 ..... 462a  
 热红外遥感 ..... 428a  
 热解产气率 ..... 234d

|                      |      |
|----------------------|------|
| 热流值计算 .....          | 167a |
| 热泉蚀变型(高岭土) .....     | 97a  |
| 热液蚀变型(高岭土) .....     | 97a  |
| 热液蚀变型(膨润土) .....     | 349e |
| 热液型(高岭土) .....       | 97a  |
| 人工补偿(电法)仪 .....      | 449c |
| 人工场法 .....           | 269a |
| 人工合成地震记录 .....       | 43d  |
| 人工静校正 .....          | 40b  |
| 人工造斜定向钻进 .....       | 67e  |
| 人工 $\gamma$ 测井 ..... | 82e  |
| 人造金刚石复合片 .....       | 19f  |
| 人造聚晶金刚石 .....        | 20a  |
| 容积储量 .....           | 192f |
| 容积式泵 .....           | 480b |
| 容重煤样 .....           | 212e |
| 溶解(煤层)气 .....        | 225b |
| 鞣质体 .....            | 90b  |
| 乳化液(冲洗介质) .....      | 475c |
| 入字型构造 .....          | 99f  |
| 软褐煤 .....            | 243f |
| 软水铝石 .....           | 200f |
| 瑞利波地震勘探 .....        | 187d |
| 瑞利型槽波 .....          | 11f  |
| 润滑层 .....            | 459b |
| 弱透水层 .....           | 98c  |

## S

|                          |      |
|--------------------------|------|
| 赛尔比矿 .....               | 436f |
| “三边”工作 .....             | 361a |
| 三侧向测井 .....              | 61f  |
| 三电极屏障电流测井 .....          | 61e  |
| 三分量检波器 .....             | 124f |
| 三脚架(钻塔) .....            | 479b |
| 三角形(储量计算)法 .....         | 31c  |
| 三角洲 .....                | 362d |
| 三角洲沉积体系 .....            | 362a |
| 三角洲平原相 .....             | 353b |
| 三角洲前缘相 .....             | 364a |
| 三水铝石 .....               | 200f |
| 三维地震解释工作站 .....          | 368f |
| 三维地震勘探 .....             | 366c |
| (三维地震勘探)路线观测<br>系统 ..... | 366c |

|                           |                  |
|---------------------------|------------------|
| (三维地震勘探)面积型<br>观测系统 ..... | 366f             |
| 三管植物群 .....               | 58c              |
| 散射 $\gamma$ 测井 .....      | 82e              |
| 扫描电镜 .....                | 239e             |
| 扫描电子显微镜 .....             | 239e             |
| 筛分浮沉煤样 .....              | 210f             |
| 筛分煤样 .....                | 212c             |
| 山崩 .....                  | 250e             |
| 山前矿区地表水防治 .....           | 39c              |
| 山西式铁矿 .....               | 377f             |
| 山西组 .....                 | 379a             |
| 山字型构造 .....               | 100d             |
| 扇三角洲 .....                | 24a              |
| 扇三角洲沉积体系 .....            | 22a              |
| 扇头相 .....                 | 23d              |
| 扇尾相 .....                 | 23d              |
| 扇中相 .....                 | 23d              |
| 上超 .....                  | 42d              |
| 上叠拗陷煤盆地 .....             | 255c             |
| 上石盒子组 .....               | 379d             |
| 上西里西亚煤田 .....             | 369b             |
| 烧钻 .....                  | 161d             |
| 射流反循环 .....               | 80d              |
| 射线追踪法 .....               | 48f              |
| 伸展构造 .....                | 370a             |
| 伸展滑脱半地槽系 .....            | 370e             |
| 深侧向测井 .....               | 61f              |
| 深断槽煤盆地 .....              | 255a             |
| 深湖相 .....                 | 118b             |
| 深孔 .....                  | 474d             |
| 甚低频电磁法 .....              | 286f             |
| 甚低频电磁仪 .....              | 125d             |
| 渗出沥青体 .....               | 244b             |
| 渗出沥青体 .....               | 356b, 432f, 434c |
| 渗水试验 .....                | 388f             |
| 渗透系数 .....                | 98b              |
| 生产地质 .....                | 167c             |
| 生产勘探 .....                | 174d             |
| (生产矿井(坑))单位涌<br>水量 .....  | 177f             |
| 生产煤样 .....                | 211d             |
| 生物成因(沉积)<br>构造 .....      | 303f, 301c       |
| 生物降解作用 .....              | 243f             |

|                     |            |
|---------------------|------------|
| 生物群指相 .....         | 313c       |
| 生物扰动(沉积)构造 .....    | 304a       |
| 生油门限 .....          | 239b       |
| 生油母质 .....          | 239a       |
| 生油岩 .....           | 239a       |
| 声波测井 .....          | 372b       |
| 声波电视测井 .....        | 374a       |
| 声波全波列测井 .....       | 373d       |
| 声波时差测井 .....        | 372c       |
| 声波探管 .....          | 264d       |
| 声幅测井 .....          | 373c       |
| 声速测井 .....          | 372c       |
| 绳索打捞器 .....         | 375a       |
| 绳索取心器 .....         | 374d       |
| 绳索取心钻进 .....        | 374b       |
| 剩余静校正 .....         | 40b        |
| 施密特图 .....          | 360a       |
| 湿气 .....            | 235d       |
| 石煤 .....            | 375d       |
| (石煤)共生矿产 .....      | 376a       |
| (石煤)资源 .....        | 376a       |
| 石门地质素描图 .....       | 168e       |
| 石墨 .....            | 376c       |
| 石墨阶段 .....          | 203b       |
| (石墨)资源 .....        | 377a, 311b |
| 石炭二叠纪含煤<br>地层 ..... | 377e, 450f |
| 石炭纪聚煤带 .....        | 135c       |
| 时间剖面对比 .....        | 43c        |
| 时效 .....            | 484a       |
| 实测储量 .....          | 260b       |
| 矢量图 .....           | 359c       |
| 示踪试验 .....          | 388f       |
| (世界硅藻土)资源 .....     | 102bd      |
| 世界煤成油工业油藏 .....     | 238c       |
| 世界煤炭资源 .....        | 260f, 263a |
| 世界泥炭资源 .....        | 341c       |
| 世界膨润土储量 .....       | 350b       |
| 事故台时 .....          | 483f       |
| 视电阻率 .....          | 65f, 60e   |
| 视电阻率测井 .....        | 60d        |
| 视煤气发生率 .....        | 234e       |
| 视密度煤样 .....         | 212e       |
| 首波 .....            | 448b       |
| 受控定向钻进 .....        | 67e        |

疏干工程排水量 ..... 177c  
 疏干工程涌水量 ..... 177c  
 疏干降深 ..... 177c  
 疏干降压 ..... 179a  
 疏干流量 ..... 177c  
 疏干系统 ..... 182d  
 疏水设施 ..... 179c  
 树皮残植煤 ..... 10e  
 树皮体 ..... 356c, 434b  
 树脂残植煤 ..... 10f  
 树脂体 ..... 355d  
**数学地质** ..... **382c**  
 数字测井仪 ..... 263cd  
**数字地震仪** ..... **385a**  
 数字电法仪 ..... 450a  
 数字滤波 ..... 40e  
 衰减曲线 ..... 121e  
 双冲式断裂系 ..... 402b  
 双发射双接收声速测井 ..... 373b  
 双发射四接收声速测井 ..... 373b  
 双管单动煤心采取器 ..... 326a  
 双管双动煤心采取器 ..... 325f  
 双管总成 ..... 374d  
 双河植物群 ..... 58b  
 双纪煤田 ..... 262d  
 水仓 ..... 176c  
 水基泥浆分类 ..... 336e  
 水力输送岩心反循环 ..... 81a  
 水量评价 ..... 192d  
 水泥浆液堵漏 ..... 476d  
 水平层理 ..... 302c  
 水平叠加 ..... 79a, 40d  
 水平分辨率 ..... 93d  
 水平偏振横波 ..... 116a  
 水平偏振横波反射法 ..... 116b  
 水平切面(储量计算)法 ..... 32a  
 水平疏水孔 ..... 179f  
 水平探巷地质编录 ..... 51c  
 水平钻 ..... 160b  
 水听器 ..... 95c  
 水位传递法 ..... 388f  
 (水文)采样孔 ..... 391f  
 (水文)地震勘探 ..... 390a  
 水文地质比拟法 ..... 177f  
**水文地质测绘** ..... **386e**

水文地质测绘比例尺 ..... 387c  
 水文地质测绘工作程度 ..... 387c  
 水文地质调查 ..... 386e  
 水文地质复杂煤矿井 ..... 185b  
 水文地质极复杂煤矿井 ..... 185b  
 水文地质简单的矿井 ..... 185a  
**水文地质勘探** ..... **387e**  
 水文地质勘探阶段 ..... 387e  
 水文地质模型 ..... 177c  
**水文地质试验** ..... **388d**  
 水文地质条件 ..... 247f  
 水文地质条件复杂矿床 ..... 248a  
 水文地质条件简单矿床 ..... 247f  
 水文地质条件中等矿床 ..... 247f  
**水文地质物探** ..... **389c**  
 水文地质中等煤矿井 ..... 185b  
**水文地质钻探** ..... **391a**  
 (水文)电法勘探 ..... 389d  
 (水文)模拟实验 ..... 389b  
 水文物探 ..... 389c  
 水雾冲洗介质 ..... 475d  
 水域沼泽化 ..... 346f  
 水源初步勘探 ..... 188c  
 水源开采勘察 ..... 188d  
 水源详细勘探 ..... 188c  
 水质弥散试验 ..... 389b  
 水质评价 ..... 194a  
 顺层滑坡 ..... 251a  
 顺层式断裂系 ..... 402c  
 瞬变场法 ..... 392a  
**瞬变电磁法** ..... **392a**  
 (瞬变电磁法)资料解释 ..... 393c  
 瞬变电磁仪 ..... 392c  
 瞬时浮点放大器 ..... 386c  
 瞬态测温 ..... 415f  
 丝煤 ..... 327e  
 丝炭 ..... 327e  
 丝炭化基质体 ..... 395d  
 丝炭化物质 ..... 393e  
**丝炭化作用** ..... **393e, 21e**  
 丝质体 ..... 74c, 394a, 434b  
 斯科勒德组 ..... 5a  
 斯拉乌基奇 ..... 20a  
 锶钡比值(Sr/Ba) ..... 305d  
 四川中坝气田 ..... 235f, 236f

四脚钻塔 ..... 479b  
 寺门组 ..... 438a  
 似盘状火成岩岩体 ..... 311e  
 苏联矿产勘查阶段 ..... 152f  
 苏联煤炭储量分类 ..... 259f  
 苏联煤田勘探类型 ..... 154c  
 苏联烟煤显微组分  
     分类 ..... 432e, 317f  
 苏浙皖区(早石炭世含煤  
     地层) ..... 438d  
 速度分析 ..... 40c  
 速度检波器 ..... 124e  
 算术平均(储量计算)法 ..... 29a  
 随机过程模拟 ..... 382d  
 随钻测量 ..... 68c  
 随钻定向 ..... 68e  
 碎屑惰质体 ..... 74f  
 (碎屑)分选性 ..... 316c  
 碎屑腐植体 ..... 89f  
 碎屑海岸沉积体系 ..... 442f  
 碎屑镜质体 ..... 132c, 433b, 434a  
 (碎屑)颗粒表面结构 ..... 316d  
 (碎屑)颗粒形态 ..... 316c  
 (碎屑)粒度 ..... 316a  
 碎屑壳质体 ..... 356b, 434c  
 碎屑岩 ..... 315a  
 碎屑岩杂基 ..... 316e  
 隧道扫描电子显微镜 ..... 239d  
 笋形(测井)曲线 ..... 308a, 307f

## T

塌陷煤盆地 ..... 254d  
 塔尔巴甘群 ..... 162d  
 台时 ..... 484a  
 台时效率 ..... 484a  
 台湾第三纪煤田 ..... 142b  
**台湾煤田** ..... **395a**  
 台效 ..... 484a  
 台月 ..... 483f  
 台月效率 ..... 484a  
 抬斜断块 ..... 171f  
 太原组 ..... 378c  
 弹性储量 ..... 192f  
**探采对比** ..... **396d**



探槽 ..... 157e  
 探槽地质编录 ..... 50c  
 探地雷达法 ..... 53d  
 探管 ..... 263bc  
 探巷 ..... 157e  
 探巷地质编录 ..... 51c  
 探井 ..... 157e  
 探井地质编录 ..... 50f  
 探明储量 ..... 27d, 259f  
 碳沥青 ..... 376a  
 碳酸盐缓坡 ..... 397a  
**碳酸盐缓坡沉积体系** ..... **397a**  
 碳酸盐缓坡沉积相 ..... 397e  
 碳酸盐陆架 ..... 397b  
**碳酸盐陆架沉积体系** ..... **398b**  
 碳酸盐台地沉积模式 ..... 397a  
 碳酸盐岩 ..... 315b  
 碳氧比测井 ..... 84e  
 唐山王家河气藏 ..... 235f  
 套管 ..... 481a  
 套管隔离堵漏 ..... 476f  
 特大型交错层理 ..... 302e  
 特低硫煤 ..... 330c  
 梯度电极系测井 ..... 60f  
 体系域 ..... 294e  
 天然场法 ..... 269a  
 天然堤 ..... 110f  
**天然焦** ..... **398c, 247a, 312e**  
 天然焦带 ..... 247b  
 调和趋势面分析 ..... 383a  
 调节型水源 ..... 193a  
 停钻台时 ..... 483f  
 通道波 ..... 11d  
 同沉积背斜 ..... 398f  
 同沉积断层 ..... 398f  
**同沉积构造** ..... **398f**  
 同沉积向斜 ..... 298f  
 同生冲刷 ..... 209f, 210a  
 同相轴 ..... 43c  
 同心圆环槽形唇面 ..... 128b  
 同心圆尖齿形唇面 ..... 127f  
 铜矿溪组 ..... 450f  
 童子岩组 ..... 409c  
 透镜状层理 ..... 302d  
 透射(槽)波法 ..... 12b

透射电镜 ..... 240b  
 透射电子显微镜 ..... 240b  
 突变论 ..... 385a  
 突发型突水 ..... 185f  
 突水类型 ..... 185e  
 突水量动态 ..... 185f  
 突水水源 ..... 185e  
 突水系数 ..... 186a  
 突水形式 ..... 185f  
 突水预测方法 ..... 186c  
 图象式遥感 ..... 428b  
 图形数据处理综合评价 ..... 468c  
 三崩 ..... 250e  
 团块腐植体 ..... 90b  
 团块镜质体 ..... 132b, 433b, 434a  
 推测储量 ..... 260c  
**推覆构造** ..... **400d**  
 推覆构造带 ..... 402c  
 (推覆构造)外来系统 ..... 400f  
 (推覆构造)原地系统 ..... 400f  
 推覆体 ..... 400f  
 推覆体构造样式 ..... 401c

## W

**瓦斯采取器** ..... **404a**  
 瓦斯成分 ..... 405c  
 瓦斯成分煤样 ..... 212f  
 瓦斯成因 ..... 405c  
**瓦斯地质** ..... **404f**  
 瓦斯地质背景 ..... 406d  
 瓦斯地质评价 ..... 406f  
 瓦斯地质图 ..... 406e  
 瓦斯赋存 ..... 405e  
 瓦斯含量 ..... 406c  
 瓦斯含量煤样 ..... 213a  
 瓦斯解吸速度测定仪 ..... 230d  
 瓦斯解吸速度的测定 ..... 230e  
 瓦斯煤样 ..... 212f  
**瓦斯突出危险性评价** ..... **407a**  
 瓦斯压力 ..... 406c  
 瓦斯堡组 ..... 75f  
 晚白垩世(聚煤带) ..... 135f  
**晚二叠世含煤地层** ..... **408f, 450f**  
**晚三叠世含煤地层** ..... **412e, 451a**

晚侏罗早白垩世(聚煤带) ..... 135e  
 汪家寨组 ..... 411a  
 网结河 ..... 112f  
 网结河沉积 ..... 113f  
 往复式泥浆泵 ..... 480c  
 微暗亮煤 ..... 425b, 424c  
 微暗煤 ..... 424f  
 微暗煤 I ..... 424e, 425a  
 微暗煤 E ..... 424f, 425a  
 微波遥感 ..... 428b  
 微侧向测井 ..... 61f  
 微惰煤 ..... 423f, 424e  
 微镜清壳质煤 ..... 425b, 424c  
 微镜惰煤 I ..... 425b, 424e  
 微镜惰煤 V ..... 425b, 424e  
 微镜惰煤 ..... 425a, 424e  
 微镜煤 ..... 423e, 424d  
 微粒体 ..... 74d, 434b  
 微量元素对比法 ..... 220c  
 微亮暗煤 ..... 425b, 424c  
 微亮煤 E ..... 423f, 424e  
 微亮煤 ..... 423f, 424e  
 微亮煤 V ..... 423f, 424e  
 微壳煤 ..... 423f, 424d  
 微三合煤 ..... 425b, 424f  
 微体古生物对比法 ..... 218f  
 微异地成煤 ..... 347d  
 桅杆(钻塔) ..... 479b  
 伪顶 ..... 208c  
 结向构造体系 ..... 98f  
**温度测井** ..... **415f**  
 稳定流扫水 ..... 25e  
 稳定煤层 ..... 153f  
**稳定器** ..... **416b**  
 稳定同位素 ..... 305e  
**稳定组** ..... **416d**  
 稳定组合钻具 ..... 416c  
 稳态测温 ..... 415f  
 涡流检波器 ..... 124f  
**乌鲁木齐煤田** ..... **416f**  
 无阀潜孔锤 ..... 354c  
 无固相冲洗液 ..... 475c  
 无后效随机过程 ..... 383f  
 无机(泥浆)处理剂 ..... 337b  
 无结构腐植体 ..... 90a

|                      |                        |
|----------------------|------------------------|
| 无结构镜煤体 .....         | 348e                   |
| 无结构镜质体 .....         | 131f, 433a, 434a, 348e |
| <b>无线电波透视法 .....</b> | <b>418d</b>            |
| (无线电波透视法)资料 .....    |                        |
| 解释 .....             | 419d                   |
| 无线电波透视仪 .....        | 418f                   |
| 无岩心钻进 .....          | 9d                     |
| 吴家坪组 .....           | 410f                   |
| 吴家峪灰岩 .....          | 378c                   |
| 物探设计 .....           | 269e                   |
| 物探数据处理 .....         | 39f, 269f              |
| (物探)野外数据采集 .....     | 269e                   |
| (物探)资料解释 .....       | 269f                   |
| 物质迁移试验 .....         | 389b                   |
| 寡林山组 .....           | 409f                   |

## X

|                       |                   |
|-----------------------|-------------------|
| 西北聚煤区 .....           | 142b              |
| 西北区(晚三叠世含煤地层) .....   | 412f              |
| 西北早中侏罗世聚煤区 .....      | 142b              |
| 西南区(晚三叠世含煤地层) .....   | 412f              |
| 西欧北海南—中欧盆地(煤气田) ..... | 233e              |
| 西山窑组 .....            | 418a              |
| 西西伯利亚盆地(煤气田) .....    | 233f              |
| 吸附(煤层)气 .....         | 225a              |
| 吸水孔 .....             | 179d              |
| <b>希尔特规律 .....</b>    | <b>421a, 258c</b> |
| <b>悉尼煤田 .....</b>     | <b>422b</b>       |
| 稀散元素试验样 .....         | 213b              |
| 细层 .....              | 301e              |
| 细层形态分类 .....          | 302a              |
| 细分散泥浆 .....           | 336e              |
| 细屑体 .....             | 89f               |
| 潟湖 .....              | 442f              |
| 潟湖相 .....             | 444c              |
| 潟湖沼泽相 .....           | 320c              |
| 下超 .....              | 42d               |
| 下伏系统 .....            | 459b              |
| 下石盒子组 .....           | 379d              |
| <b>显微煤岩类型 .....</b>   | <b>423b</b>       |

|                        |             |
|------------------------|-------------|
| 显微煤岩类型组 .....          | 423c        |
| 显微亚组分 .....            | 317d        |
| 显微组分分组 .....           | 318a        |
| 显微组分种 .....            | 317d        |
| 显微组分组 .....            | 317d        |
| 线状褶皱 .....             | 170f        |
| 陷落柱 .....              | 148a        |
| 湘桂粤区(早石炭世含煤地层) .....   | 437f        |
| 箱形(测井)曲线 .....         | 307e        |
| 镶边陆架 .....             | 397b        |
| 镶边陆架沉积体系 .....         | 398b        |
| <b>详查 .....</b>        | <b>425c</b> |
| 详查程度 .....             | 426d        |
| 详查储量 .....             | 26f         |
| 详查地质报告 .....           | 277e        |
| 详查阶段水文地质勘探工作 .....     | 387f        |
| 详细勘探 .....             | 128e        |
| 详细普查 .....             | 351f        |
| 详终程度 .....             | 426e        |
| 详终地质报告 .....           | 278e        |
| 相 .....                | 304c        |
| 相分析 .....              | 304f        |
| 相似褶皱 .....             | 170f        |
| 相速度 .....              | 12a         |
| 向斜 .....               | 170f        |
| 削蚀 .....               | 42d         |
| 消耗型水源 .....            | 193a        |
| 小潮差海岸 .....            | 442f        |
| 小口径钻孔 .....            | 474d        |
| 小龙潭煤田 .....            | 142a        |
| 小龙潭植物群 .....           | 58c         |
| 小型交错层理 .....           | 302e        |
| 小型(矿井地质)构造 .....       | 170e        |
| 小型煤气发生炉半工业试验(煤)样 ..... | 212b        |
| 小窑调查 .....             | 279f        |
| 小圆井地质编录 .....          | 51b         |
| 斜层理 .....              | 302e        |
| 斜井地质素描图 .....          | 168e        |
| 斜井检查钻孔 .....           | 163c        |
| 斜孔观测系统 .....           | 34d         |
| 斜歪褶皱 .....             | 170f, 171d  |
| 斜向断层 .....             | 171c        |

|                 |            |
|-----------------|------------|
| 斜向节理 .....      | 171c       |
| 新疆早中侏罗世煤田 ..... | 142c, 442c |
| 信噪比 .....       | 95b        |
| 兴安岭群 .....      | 460c       |
| 宣威煤系 .....      | 408f       |
| 宣威组 .....       | 410f       |
| 旋卷构造 .....      | 100c       |
| 旋转型剪切 .....     | 470b       |
| 选择Y-Y测井 .....   | 83f        |

## Y

|                     |             |
|---------------------|-------------|
| 压电式检波器 .....        | 124f        |
| 压气反循环 .....         | 80e         |
| 压缩空气(冲洗介质) .....    | 475c        |
| 牙轮钻头 .....          | 484c        |
| 岩崩 .....            | 250f        |
| 岩层产状测井 .....        | 359a        |
| (岩层)各向异性 .....      | 62f         |
| (岩层与煤层分析)概率模型 ..... | 41b         |
| (岩层与煤层分析)体积模型 ..... | 41b         |
| 岩床 .....            | 311e        |
| 岩粉密度 .....          | 472e        |
| 岩巷地质素描图 .....       | 168f        |
| (岩浆)尖劈贯入 .....      | 313a        |
| 岩浆侵入机制 .....        | 313a        |
| (岩浆)熔蚀同化 .....      | 313a        |
| 岩矿特征对比法 .....       | 220a        |
| 岩墙 .....            | 311e        |
| 岩溶充水矿床 .....        | 247f        |
| 岩溶陷落柱 .....         | 148a        |
| (岩石)电阻率 .....       | 307a        |
| 岩石电阻率 .....         | 65c         |
| 岩石电阻率的各向异性 .....    | 65f         |
| <b>岩石可钻性 .....</b>  | <b>427a</b> |
| 岩石上(下)山地地质素描图 ..... | 168e        |
| (岩石)Y-Y射线 .....     | 307b        |
| (岩石)自然电位 .....      | 307c        |
| (岩石)自然放射性 .....     | 307b        |
| 岩相图 .....           | 316e        |
| 岩相-旋回对比法 .....      | 220a        |
| 岩心 .....            | 293c        |